Mngool.com

# الجيولوجيا

٥

سيلكا - سويسرا

## فهــــرس






Imprimé en Italie par G.E.P. Cremon[...]
Printed in Italy by G.E.P. Cremona

# الغِلاف الجوّي

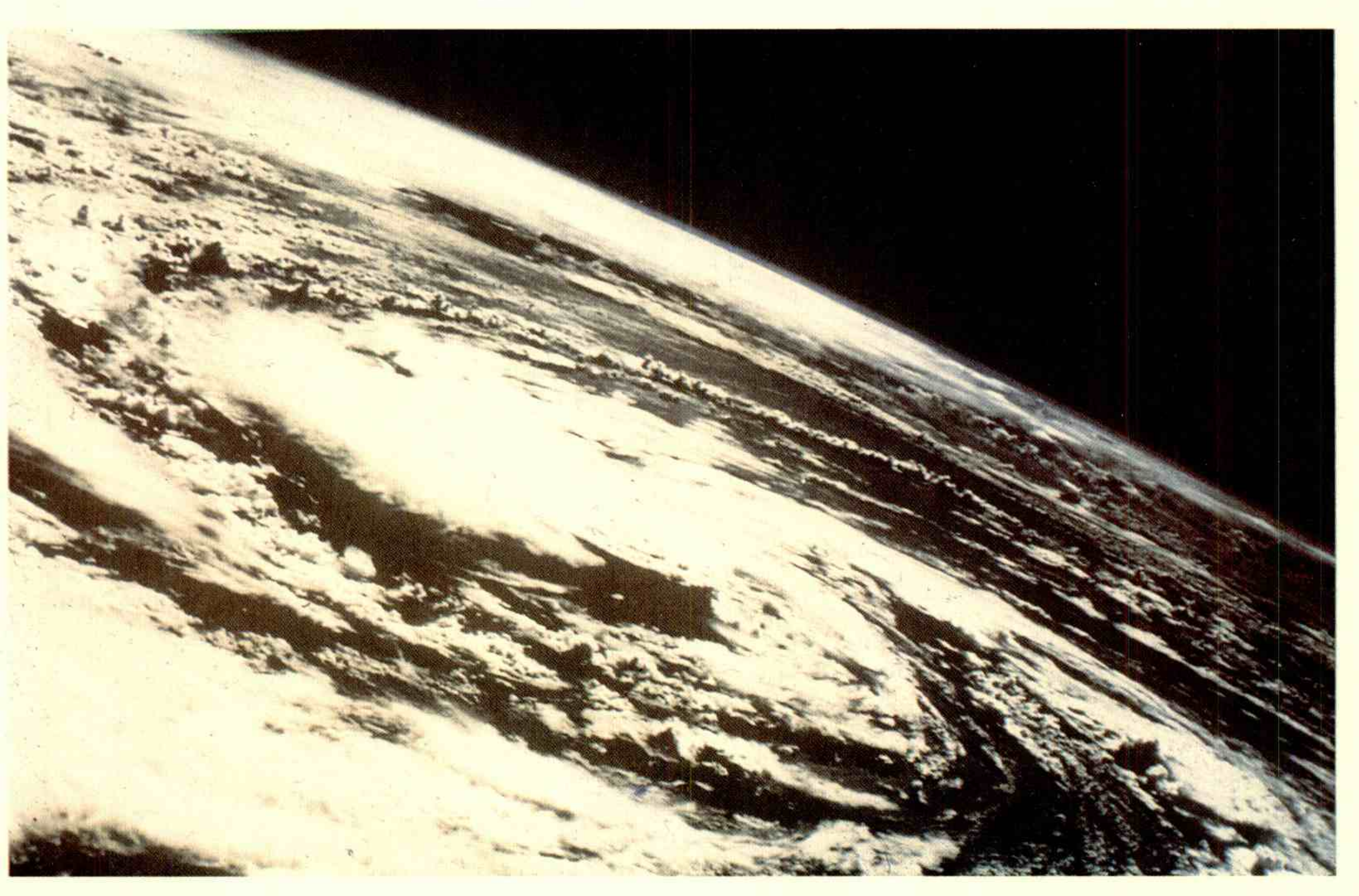
# الغلاف الجوي :

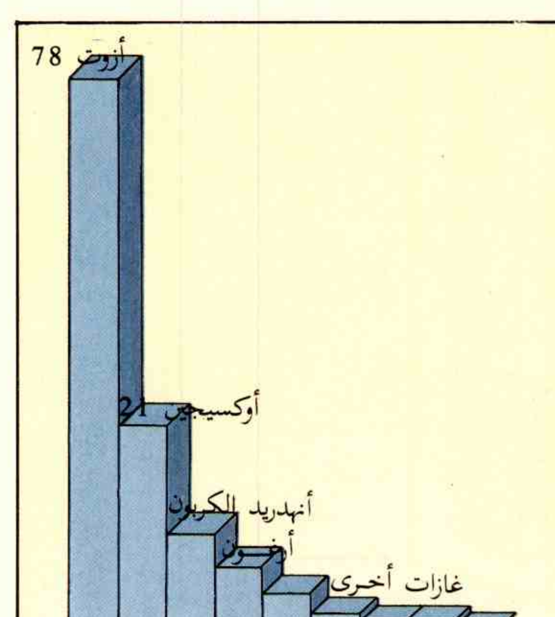
مماذا يتكوّن الغلاف الجوّي ؟

الغلاف الجوي هو خليط غازي يحيط بالكرة الأرضية ويربط بينها وبين الفضاء الكوني اللامحدود . وهو مكون أساسا من الأزوت ( 78 % ) والأوكسيجين ( 21 % ) إلى جانب الغازات النادرة الخمس ( الهليوب والنُيون والزِّنون والكْربْتون والأرغون الذي يمثل نسبة أوفر ) ، ثم أوكسيد كل من الكاربون والأمنياك والأزون . كما يوجد هناك أنهدريد الكربون وكميات أكبر من الغازات السابقة وأقل بالنسبة لكميات الأزوت والأكسجين وفي الطبقات الأقرب إلى القشرة الأرضية يحتوي الغلاف الجوي كذلك على بخار الماء والغبار المتكون من الجراثيم ( البكتريات ) والغبيرات وحُتات الصخور والمواد العضوية . ويتغير انضمام الغازات وتجمعها حسب المسافة الفاصلة بينها وبين الأرض ، إلى درجة أنه يمكن التمييز بين مختلف الطبقات المنضدة التي تفصل بينها مجالات انقطاع تمثل محلولات لاستمرارية الغلاف الجوي . وسنتعرض الآن بالتفاصيل إلى خصائص مختلف

---

لوكانت الأرض بدون غلاف جوي ، لتعرّضت بكيفية مباشرة لأشعة الشمس وموجاتها القصيرة . آنذاك سوف تكون بها نفس الحرارة الموجودة في القمر والمتراوحة مابين 130 درجة مئوية و 150 درجة مئوية تحت الصفر . وقد تصل النيازك والاشعاعات إلى كوكبنا دون أن يعترض طريقها أدنى حاجز .






كما يظهر في الرسم التبياني أعلاه ، يشكل الأزوت أغلبية الغلاف الجوّي بينما يكون الأوكسيجين 21 % من سعته . وهناك غازات عديدة تدخل في تركيب الغلاف الجوّي كلّها ذات أهميّة رغم ماتمثّله من نسب ضئيلة .

الطبقات المسماة على التوالي : الطبقة الجوية السفلى ، السُّكاك وهو ما زال لم يعرف بكيفية مدقّقة.

فالطبقة الجوية السفلى هي أقرب طبقة إلى القشرة الأرضية تتمركز فيها نسبة 90 % من الكتلة الجوية و 75%من بخار الماء . ويتغير سمكها حسب درجات الارتفاع : ففوق المناطق القطبية ، يصل إلى حوالي 6 و 10 كلم ، وفي المناطق المعتدلة يصل حوالي 127 كلم أما في المناطق الاستوائية فيصل 18 كلم .

وبسبب الحرارة المنبعثة من الأرض فإن كتل الهواء في الطبقة الجوية السفلى دائمة الحركة وتثير بذلك الظواهر الجوية والمناخية . ومن مميزات الطبقة الجوية السفلى كون درجات حرارتها تتقلص تدريجيا كلما تضاعفت درجات الارتفاع : ذلك أن الحرارة تنخفض ب 6 ،0 درجة مائوية كل مائة متر . وتميل الاضطرابات الجوية وانخفاض درجات الحرارة إلى التوقف عند ارتفاع يصل 11.000 مترا، وذلك في المنطقة المعروفة بالطبقة الجوية الوسطى .

ويقع السكاك أو الستراتسفير فوق الطبقة الجوية السفلى على ارتفاع يبلغ حوالي 40 و 50 كلم . ويشبه تقريبا من حيث تكوينه الطبقة السابقة إلا أن الماء لا يمثل فيه سوى كمية جد ضئيلة (01 ،0 % ) ويكون الضغط فيه منخفضا بسبب تمركز مفرط للكتلة الجوية في الطبقة الجوية السفلى . ولا توجد في السكاك تشكلات سحابية ، كما أن انخفاض درجات الحرارة منعدم ، بينما تميل الغازات إلى اتخاذ وضع منضد بالنسبة للكثافة المتقلصة كلما زاد الارتفاع .

وعلى ارتفاع 40 أو 50 كلم ، أي في الجزء الأعلى من السكاك ، تقوم الأشعة الفوق البنفسجية بتحطيم ذرات الأوكسيجين محدثة إنتاجا مكثفا من الأزون ( 03 ) .

لماذا يكتسي الغلاف الأوزوني أهمية قصوى ؟

**أشرطة فان آلن :**

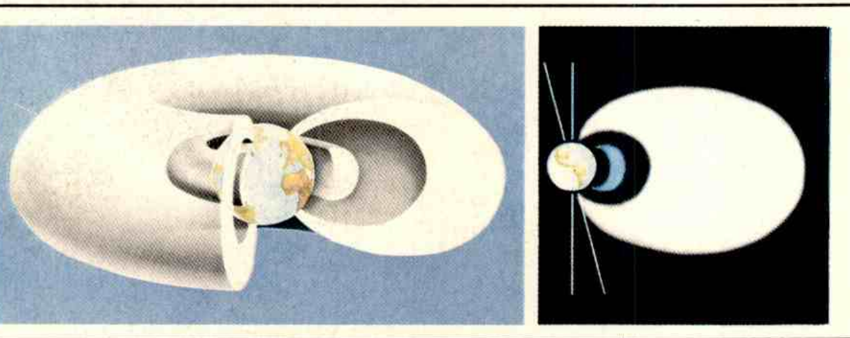
عندما تجاوز القمر الصناعي الأمريكي (إيكسبلورير 1) ارتفاع 700 كلم ، أنهكت أجهزته الخاصّة بقياس الاشعاعات ، مما اضطرّ العلماء إلى إقامة الحزام الأوّل الذي كان لايعرف إلّا من باب الفرضيات ، قبل أعمال فان آلن سنة 1912 .

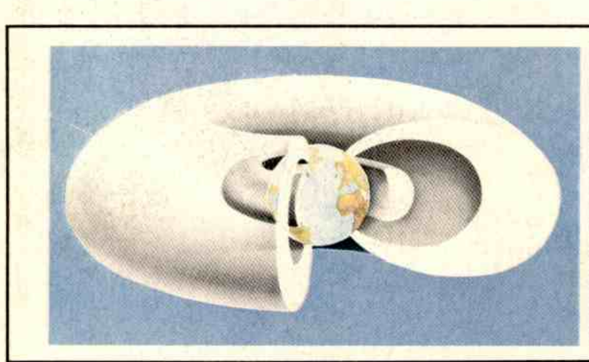
بعد ذلك تمكّن العلماء من تحديد المقاييس الصّحيحة لتلك المناطق البعيدة من الأرض بمسافة تتراوح مابين 1000 كلم وبصفة عشرات الآلاف من الكيلمترات ، وكذلك الشأن بالنّسبة لطبيعة الذرّات التي تتكوّن منها . ويتعلّق الأمر أساسا بإيليكترونات وأويّلات تتنقّل بسرعة فائقة وترغمها قوى حقل جاذبية الأرض على البقاء عند حدود هذا الحقل . ويتّخذ مقطع أحزمة الاشعاع انطلاقا من خطوط الزّوال ، شكل هلال ، يقع طرفه المنتفخ عند خطّ الاستواء ورأساه عند مستوى القطبين الجاذبيين .

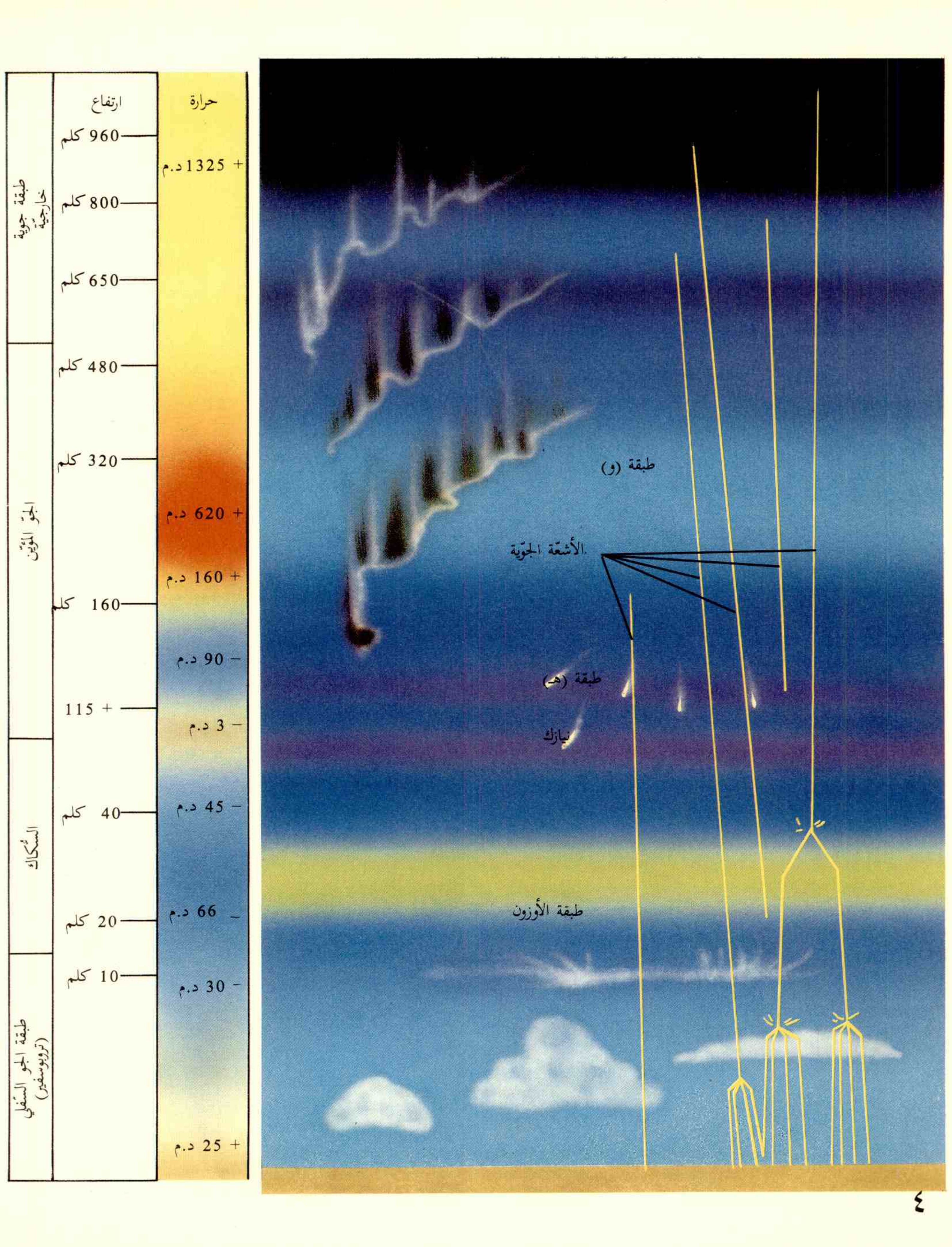
ماهي أشرطة فان آلن ؟

إن أصل أحزمة فان آلن التي ترجع إلى إشعاع ذرّات ذات طاقة عالية موجودة في الغلاف الجوّي الأعلى ، مازال لم يعرف بكيفية مدقّقة .

ويحدّد شكلها (مقطع اليسار أسفله) بواسطة حقل الجاذبية الأرضية ، وهو معرض لانحرافات قد تثير عواصف مغنطيسية . والمحور المشترك بين الحزامين (أ) ليس متوازيا مع محور الدّوران الأرضي (ب) ، فهو يمرّ من القطبين الجاذبيين .







طبقة جوية خارجية
الجوّ المؤيّن
السُّكاك
طبقة الجو السفلي (تروبوسفير)
ارتفاع
960 كلم
800 كلم
650 كلم
480 كلم
320 كلم
160 كلم
115 +
40 كلم
20 كلم
10 كلم
حرارة
+ 1325 د.م
+ 620 د.م
+ 160 د.م
− 90 د.م
− 3 د.م
− 45 د.م
− 66 د.م
− 30 د.م
+ 25 د.م
طبقة (و)
الأشعّة الجوّية
طبقة (هـ)
نيازك
طبقة الأوزون

وتعرف هذه الطبقة التي تمتص كميات هائلة من الأشعة البنفسجية والتي يحدث بها تمركز مهم من الأزون الطبقة الأوزونية أو الأوزونوسفير .

والمنطقة التي يتحول فيها السكاك إلى الميزوسفير تسمى الطبقة الجوية الوسطى ( الستراتوبوز ) وتقع على ارتفاع خمسين كيلومتر من القشرة الأرضية . وفي الميزوسفير يبلغ تنادر الغازات أقصى درجاته ، وينخفض الضغط إلى درجة يصعب معها قياسه ولا يوجد الأوزون إلا في الجزء الأسفل من الطبقة . وعلى ارتفاع حوالي 80 كلم يوجد شريط يعرف بالميزوبوز أو الطبقة الجوية الفوقية وهو يضع الحد الأعلى للطبقة .

أما الجو المؤين ( اليونوسفير ) فيعرف بهذا الاسم نظرا لأن ذرات الغاز التي يشتمل عليها جد مؤينة أي مشحونة كهربائيا أو متفككة أي على شكل ذرات . إلى أنه نظرا لكون الأيونات السالبة والأيونات الموجبة متساويان عدديا فإن منطقة الجو المؤيّن متعادلة كهربائيا . وينقسم الجو الأيوني إلى ثلاث طبقات مختلفة تعرف من الأسفل إلى الأعلى ، بالحروف اللاتينيــــــــــــة د (D) وأو ( E ) وف ( F ) وتنقسم الطبقة الأخيرة ( F ) بدورها إلى طبقتين هما ف 1 ( $F_1$ ) و ف 2 ( $F_2$ ) المتمايزتين بارتفاع الكثافة الكهربائية فيهما إلى $10^7$ الكترون في كل سم$^3$ ) .

ويحول ارتفاع درجة التكهرب في طبقات الجو المؤين دون توصله بالموجات الاشعاعية المنعكسة والتي ترجع نحو الأرض لتلتقطها أجهزة معدة لذلك . وتؤثر درجات الارتفاع على خصائص الجو المؤين . ففي المناطق القطبية وعلى ارتفاع 100 كلم ، يحدث تدفق شديد لجزيئات من أصل شمسيّ تثير ظواهر ضوئية مثل الفجر القطبي وذلك بإنتاجها لتأيين إضافي .

وعلى ارتفاع يفوق 200 كلم ، فإن العنصر الأهم في الغلاف الجوي هو الأوكسجين الذريّ : فكلما تضاعفت المسافة بالنسبة للجو المؤين كلما تقلصت الكثافة الذرية ، إذ في كل 2400 كلم توجد ذرة واحدة لكل سم3 ، ورغم التنادر الأقصى الذي يصيب الجو المؤين فإنه عبارة عن شاشة تحمي من الاشعاعات الشمسية والكوكبية ومن الأشعة الكونية والجزئيات الشمسية ، وبذلك تمكن جميع الأجسام من الحياة . وفوق الغلاف الجوي يوجد شريطا فان ألن ( Van Allen ) المكونان للطبقة الجوية التي تبعد عن كوكبنا بمسافة تتراوح ما بين 3000 و 25000 كلم ، ويتكوّنان من الجزئيات الذرية .

ويبلغ سمك الشريط الأول حوالي 1600 كلم ، وهو قار يتكون من الأويلات الذرية التي تفككها الأشعة الكوكبية ، أما الشريط الثاني فيصل سمكه إلى 6500 كلم وهو غير قار ويتكون من إلكترونات من أصل شمسي . وبسبب مفعول خطوط قوة حقل الجاذبية الأرضية فإن الذرات لا تتمكن من الافلات من الشريط ولكنها تكتفي بالتنقل من مكان إلى آخر .

**مفعول الشمس :**

إن جميع الظواهر التي تحدث داخل الخليط الغازي الذي يحيط بالأرض وجميع المبادلات الطاقية التي تحدث هناك مردها إلى الاشعاعات الشمسية وكميات الطاقة التي تتمكن من إلتقاطها .

**ماذا يقع في الجوّ المؤيّن ؟**



رسم الصّفحة اليمنى : مختلف مناطق الغلاف الجوّي الأرضي . يبيّن العمود الأوسط درجات الحرارة الموجودة في مختلف المرتفعات . الرسم جانبه : الاطار العامّ للاشعاعات الشّمسية . وكما سنرى فيما بعد ، فالأرض لا تتلقّى سوى جزءا من مجموع الاشعاع لأن 16% منه تمتصّه طبقة الأزون و 18% يتوزّع في الجوّ ، ويصل منه مقدار 11% إلى الأرض فيما بعد ، أما 40% فتلتقطها الطّبقات السّحابية تصل منها 14% فيما بعد إلى الأرض. وهكذا فالأرض تتلقى تشمّسا يناسب 51% من الاشعاع الشّمسي وأقل من 4% على شكل إشعاعات منعكسة .

## لماذا لا تتلقى الأرض مجموع الطّاقة الشّمسية ؟

والاشعاع الشمسي هو نوع من الكهرطيسية وتهم شريطا واسعا من الأطياف الكهرطيسية ومن الموجات القصيرة مثل الفوبنفسجية والموجات الطويلة مثل الموجات تحت الحمراء . إلا أن الأرض لا تلتقط إلا جزءا يسيرا من هذه العناصر لأن الاشعاعات تتضاءل تدريجيا باختراقها **الغلاف الجوي**. ولا يتلقى سطح الأرض مباشرة سوى 26% من الاشعاعات الشمسية . أما الباقي فيتوزع على النحو التالي : 16% تمتصها ذرات الأوزون وأنهدريد الكاربون وبخار الماء التي توجد في الغلاف الجوي ، و 18 % تنبث في المحيط الجوي موزعة على مختلف الجهات ويصل منها 11 % إلى الأرض . ومن نسبة 40 % التي تعترضها الطبقات السحابية ، تتمكن 14 % من الوصول إلى سطح الأرض . وعليه ، فما بين الاشعاعات المباشرة وغير المباشرة تتلقى الأرض تشمسا يقدر ب 51 % من مجموع الاشعاعات التي ترسلها الشمس .وتجدر الاشارة إلى أن الأرض لا يمكنها أن تستعمل كل هذه الكميات لأن المجالات العاكسة كالمساحات الجليديّة والحقول المزروعة تجعل امتصاص الاشعاعات الشمسية يتم بكيفية ناقصة ، ويقدر الجزء المنعكس في الاتجاه الخارجي بنسبة 4 % من الاشعاع **المتساقط المعروف بالبياض . وحاصل القول ، فإن الأرض** تستعمل حوالي 47 % من مجموع الطاقة التي ترسلها الشمس .

## التوزيع الحراري حسب درجات الارتفاع :

إن الاشعاعات الشمسية التي تلتقطها الأرض تصلح لتدفئتها ومضاعفة درجات حرارتها التي يتراوح معدلها ما بين 13 و14 درجة مئويّة ، ومع ذلك ، فعلى غرار جميع **الأجسام المختزنة للحرارة ، ترسل الأرض بدورها نحو الخارج إشعاعاتها الخاصة ، والتي تختلف عن الاشعاعات التي تلقتها والتي تفوقها حرارة . وعليه فمن السهل إدراك أسباب كون الغلاف الجوي لا يدفأ إلا بكيفية جد محدودة بواسطة الاشعاعات الشمسية ، لأنه في الواقع يأتي مصدر الحرارة من الاشعاعات الأرضية نفسها بالدرجة الأولى.**

وكما ذكرنا سالفا ، فالأرض ترسل إشعاعات مختلفة عن الاشعاعات التي تلقّتها وإشعاعاتها ذات تردد منخفض ، أي تحت الحمراء ، وأقل نفاذا إلا أن مفعولها الحراري يفوق مفعول الاشعاعات ذات التردد المرتفع المعروفة بالفوبنفسجية . وتلتقط الطبقات المنخفضة من الغلاف الجوي ( الطبقة الجوية السفلى ) الموجات الطويلة بسهولة ولذلك فإنه على مقربة من سطح الأرض يكون الهواء أكثر دفئا في الأجزاء العلوية . وهكذا يحدث مفعول خاص يعرف بمفعول الأمّ للغلاف الجوي ، كما لو أن الأرض محاطة بكرة زجاجية تمكن من وصول الأشعة الشمسية الضوئية كما تحتفظ بالأشعّة الحرارية تحت الحمراء وتعكسها .

وكما رأينا سابقا ، ففي الطبقة الجوية السفلى تنخفض درجة الحرارة انطلاقا من الطبقات المنخفضة في اتجاه الطبقة العلوية حيث تصل حدا أدنى يقدر ب 54 درجة مئوية تحت الصفر وخصوصا في الجانب الأعلى من الطبقة . وفي السكاك أي الطبقة الموالية مباشرة للطبقة الجوية السفلى ترتفع درجات الحرارة إلى 17 درجة مئوية على مستوى 50 **كلم من الارتفاع وبقدر ما تكون إيجابية المعدل الحراري مرهونة بالارتفاع بقدر ماتكون قدرة الغلاف الجوي على**

كما يظهر في الرسم الأعلى من الصفحة الموالية ، فإن جزء الغلاف الجوّي الأكثر قربا من الأرض غاية في الحرارة ، وذلك لأنّ الأشعة الحرارية تنعكس على الطّبقة الجوّية السفلى ، في حين تنفذ الأشعة الضّوئية . ويترتّب عن ذلك ظاهرة خاصّة تعرف ب (مفعول الأمّ) تماثلها مع الوضعية الموجودة داخل الأم وهو البناء الزّجاجي الذي تستنبت فيه النّباتات في البلاد الحارة ويتمّ حفظها من حرارة الشّمس مع تمكينها من الاستفادة من الضوء الذي يستعمل للتّخليق الاصطناعي .

لماذا تنعدم الحرارة خارج الغلاف الجوي ؟

امتصاص ذرات الأوزون ، ممايفسر انقلاب وارتفاع درجات الحرارة بالنسبة للطبقات السفلية.

وبسبب غياب الأوزون شبه المطلق في الميزوسفير فإن درجة الحرارة تصبح سالبة حيث تصل أحيانا 130 درجة تحت الصفر عند ارتفاع 80 كلم أي عند الطبقة الجوية الوسطى .

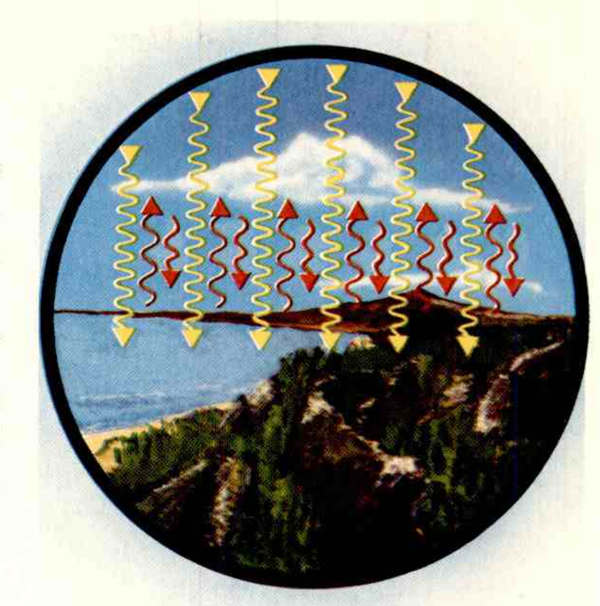
أما في الجو المؤين حيث بلغ الاشعاع الشمسي أوج كثافته فإن درجة الحرارة ترتفع من جديد حيث تصل ما بين 1200 درجة مئوية و 1770 درجة مئوية وذلك عند ارتفاع يتراوح ما بين 550 و 600 كلم . علاوة أن في هذه المنطقة يتم إنتاج كميات هائلة من الطاقة تثير الحرارة بسبب سلسلة من التحولات الكميائية و الفزيائية خاصة منها اختراق الأشعة الكوكبية لنوى الذرات .

وفيما فوق الغلاف الجوي حيث تنعدم المادة وجميع أشكال الطاقة ، فإنه من العبث الحديث عن درجات الحرارة .

**التوزيع الحراري حسب المناطق وخطوط العرض :**

من المستحيل جدا أن تتساوى درجات الحرارة في جميع مستويات ومناطق الأرض وخطوط العرض ، لأنها مرهونة بمدى ابتعادها النسبي عن الشمس وبعوامل مختلف أخرى سنحاول تقديمها فيما يلي .

لقد سبق أن تعرضنا إلى المسافة الفاصلة بين الأرض



في الرسم أعلاه ، تبين السّهام الصّفراء الأشعة الشّمسية التي تلحق بسطح الأرض ، كما تشير السّهام الحمراء إلى الأشعة المنعكسة على الأرض والتي تتوفّر على قدرة حرارية عالية . وقد رأينا سابقا أنّ هذه الوضعية تثير مفعول الأم ، لأن قدرا مهمّا من الحرارة يبقى مخزونا في الغلاف الجوي .

في الرسم أسفله : توزيع الحرارة الشّمسية على سطح الأرض حسب درجات الارتفاع .

**لماذا تكون تدفئة الأشعّة الشّمسية ضعيفة في القطبين خلال فصل الشتاء ؟**

والشمس ، ورأينا كذلك أن الأشعة الشمسية بفعل تلك المسافة الهائلة تبدو متوازنة وأن القشرة الأرضية تختلف من حيث الشكل والخصائص باختلاف المناطق وخطوط العرض . وبالفعل ، فانحناء الأشعة الساقطة على سطح الأرض يمر من مستوى تعامُدي عند خط الاستواء إلى أقصى مستوى انحرافي عند القطبين . ومن البديهي أن يكون التشمس أقوى في المناطق الواقعة بين المدارين مما هو عليه في المناطق القطبية ، لأنه في هذه الأخيرة ، يكون على نفس الحزمة الشعاعية التي تغطي مساحة أوسع. كما أن الانحراف يمثل زيادة في مطاف الأشعة اللازم أن تطلق أعلى قوة حرارية لأنها تخترق نقطة في الغلاف الجوي بالغة السمك . ويمكن التيقن من ذلك في أي نقطة من مناطق الكرة الأرضية بمعاينتها طول النهار . ففي الفجر وعند الغروب، تكون أشعة الشمس أكثر انحرافا وأقل حرارة.
وهناك عامل آخر من عوامل التغيير تمثله الكتل المائية الكبرى المتواجدة في الكرة الأرضية على شكل بحار . فالبحر أبطأ بكثير من الأرض اليابسة من حيث التدفئة ، لأنه يتوفر على حرارة خاصة أعلى من حرارة الصخور ، ولأنه مكون من المياه الاستحرارية التي تمكن الاشعاعات من الوصول إلى الأعماق ، ثم إن أكبر جزء من الطاقة الشمسية يضيع في التبخر أو بسبب الانعكاس . إلا أن كون البحر بطيء التدفئة بالنسبة للأرض ، فهو أيضاً



منظر للأرض كما التقطته أحد الأقمار الاصطناعية . لنلاحظ تشكّل السّحب.

بطيء التبريد . فالأرض إذاً أشد حرارة من البحر خلال النهار بينما يكون البحر أكثر حرارة في الليل . والمناطق الساحلية تستفيد من هذه الخاصية التي يتميز بها البحر لأنه يضمن لها فصول شتاء أكثر اعتدالا وفصول صيف باردة وهذا ما يعرف بالمناخ المحيطي .

العامل الآخر من عوامل التغيير المرهون بالبحر ذلك المرتبط بالتيارات البحرية التي تكون إما حارة أو باردة فتثير تغيرات مناخية مهمة في المناطق الساحلية .

أما آخر عوامل التغيير فيتمثل في النباتات . فبسبب حاجتها إلى الحرارة التي تستمدها من الغلاف الجوي وقوتها التنفسية التي تثير الرطوبة على شكل بخار مائي، فهي تؤدي بصفة عامة إلى انخفاض معدّل الحرارة.

ويمكن القول إذا أن درجات الحرارة تنخفض تدريجيا من خط الاستواء إلى القطبين وتتغير عند خطوط العرض المتساوية حسب وجود أو غياب الكتل المحيطية والتيارات البحرية ووفرة أو ندرة النباتات .

**الضغط الجوي :**

إن الكتلة الهوائية التي تحيط بنا تحط بثقلها علينا وعلى سطح الأرض . وهذا الثقل لا يرجع فقط إلى الكتلة نفسها



تلعب النّباتات دورا هامّا في توزيع الحرارة على سطح الأرض . ويرتبط ارتفاع وانخفاض الاشعاع الشمسي بمدى حضور أوغياب النبّاتات . ويدلّ ذلك على أنّ البلدان الغنيّة بالنباتات تتميّز بمناخ رطب ناتج عن تلك النّباتات التي تستعمل الضّوء للتّخليق ثم تطلق أنهدريد الكربون وبخار الماء وذلك مما يثير انخفاضا في معدّل الحرارة .

ولكن كذلك إلى حركة الذرات التي تتكون منها الغازات الجوية . ويتعلق الأمر بالذرات التي تتزاحم باستمرار بعضها مع بعض وترتطم بالانسان وبسطح الأرض . وعموما ، فبالنظر إلى أننا نضغط على الأرض فنحن لا ندرك الضربات الصادرة من الأعلى لأن مائعات جسمنا تقوم بممارسة دفعات مماثلة نحو الخارج متعارضة مع الدفعات الصادرة عن الجو .

ومجموع الدفعات الموجهة نحو الأسفل يعرف بالضغط الجوي . وهو يقاس بأحصاء وزن أنبوب هواء معياري ثم الارتفاع به من نقطة معينة من سطح الأرض وأنبوب بنفس القاعدة ثم قياس وزن المواد المتضمّنة في ذلك الأنبوب المرتفع من الأرض إلى غاية الطبقة الجوية

وقد يبدو كل هذا مجردا إلا أنه يتم عادة الرجوع إلى مستوى البحر عند 45 درجة من خط العرض حيث تبلغ الحرارة 5 درجات مئوية : وتكون الحالة العادية هي الضغط الذي يمارسه أنبوب هواء من سنتمتر مربع واحد يستجيب للخصائص المبينة أعلاه والتي عوضها العلماء بأنبوب مماثل من الزئبق علوه 760مم وبقطع من سم$^2$ جوا . والآلة المستعملة لقياس الضغط الجوي هي المضغاط ( بارومتر ) أو مرسمة الضغط .

واختيار بعض ظروف الارتفاع والحرارة لتحديد الضغط العادي ليس اعتباطيا ، لأن هناك بعض الظروف التي تؤثر بكيفية واضحة على المقاييس المضغاطية المتعلقة بالضغط . فلنلاحظ مثلا درجات الحرارة ، فارتفاعها يثير إفراطا في النشاط الحركي للذرات المكونة للجو ، مما يضاعف التصادم بين هذه الذرات نفسها . آنذاك يتضاعف المجال الفاصل بين الذرات ويتقلص الوزن العام للكتلة الجوية المعينة مما يخفض من ارتفاعها الحراري ، ولكي نوضح ذلك **نعطي هذا المثال:** إن مقدار 1000 س$^3$ من الهواء مع 30 درجة مئوية يزن أقل ممّا يزنه مقدار 1000 سم$^3$ من الهواء في 20 درجة مئوية . وإذا التقت هاتان الكتلتان **تصعد الحارة منها وتنزل الكتلة الباردة .**

وتحدد الرطوبة انخفاض أو ارتفاع الضغط الجوي ، ذلك أن الغلاف الجوي خليط من الغازات المتباينة من حيث وزن ذراتها ، والضغط الذي يمارسه هو مجموع الضغوط الجزئية الصادرة عن هذه الغازات . فإذا كان البخار المائي وافرا ، فإن ذراته سوف تعوض ذرات الغازات الثقيلة مثل الأزوت والأوكسيجين اللذان يمثلان نسبة 99 % من كتلة الغلاف الجوي الشيء الذي يترتب عنه انخفاض في كتلة الهواء . وبسبب تنادر الهواء فإن الارتفاع كذلك يؤثر على الضغط بتقليصها تناسبيا مع درجة الارتفاع .

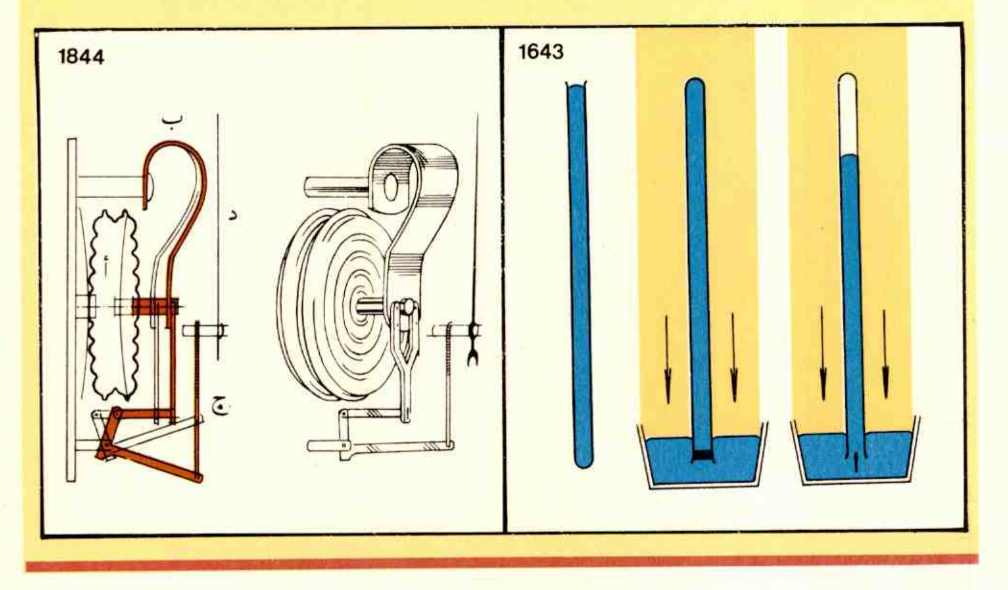
وخلاصة القول ، إن تلازم مجموعة من عوامل التغيير تحول دون وضع قواعد أحادية انطلاقا من المعاينة المباشرة. ولهذا السبب ارتأى العلماء أن يوحدوا بين كل النقط المشتركة في نفس الضغط الجوي وبذلك يحصلون على دراسة لطبقات تسهل دراستها لأنها لا تتوفر سوى على تغيرات مضغاطية محدودة ، وتعرف هذه الخطوط المتشابهة بمتساويات الضغط .

كيف يتّم قياس الضّغط الجوّي ؟

**المضغاط**

**تجربة توريسيلي (1643)** : يتمّ قفل أنبوب ممتلىء بالزئبق ويقلب داخل وعاء صغير مليء بالزّئبق كذلك . وبعد نزع السدّادة يهبط الزئبق في الأنبوب إلى أن يصل مستواه الى 76 سم فوق مستوى زئبق الوعاء . ويرجع ذلك إلى أنّ الجوّ يضغط على السّطح العاري للمعدن السّائل ، فيهبط المعدن داخل الأنبوب إلى أن يتوازن ثقله الضّغط الجوّي . ويتغير ارتفاع عمود الزّئبق حسب ضغط الهواء الجوي .

**مِضغاط فيدي المعدني (1844)** : إن المضغاط المعدني أكثر سهولة في الاستعمال رغم كونه أقلّ دقّة من مضغاط الزّئبق . ويقوم عَمله على علبة (أ) ذات جدران رهيفة يسود فيها الفراغ وترتبط بنابض (ب) . ويقوم الضّغط الجوّي بتغيير شكل العلبة ، وتتنوّع التشوّهات التي يحدّ منها نابض الاسترجاع ، حسب تغيّرات الضّغط ، مثيرة بذلك تنقّلات ترسل بواسطة رافعة وسلسلة صغيرة (ج) إلى غاية الابرة (د) .

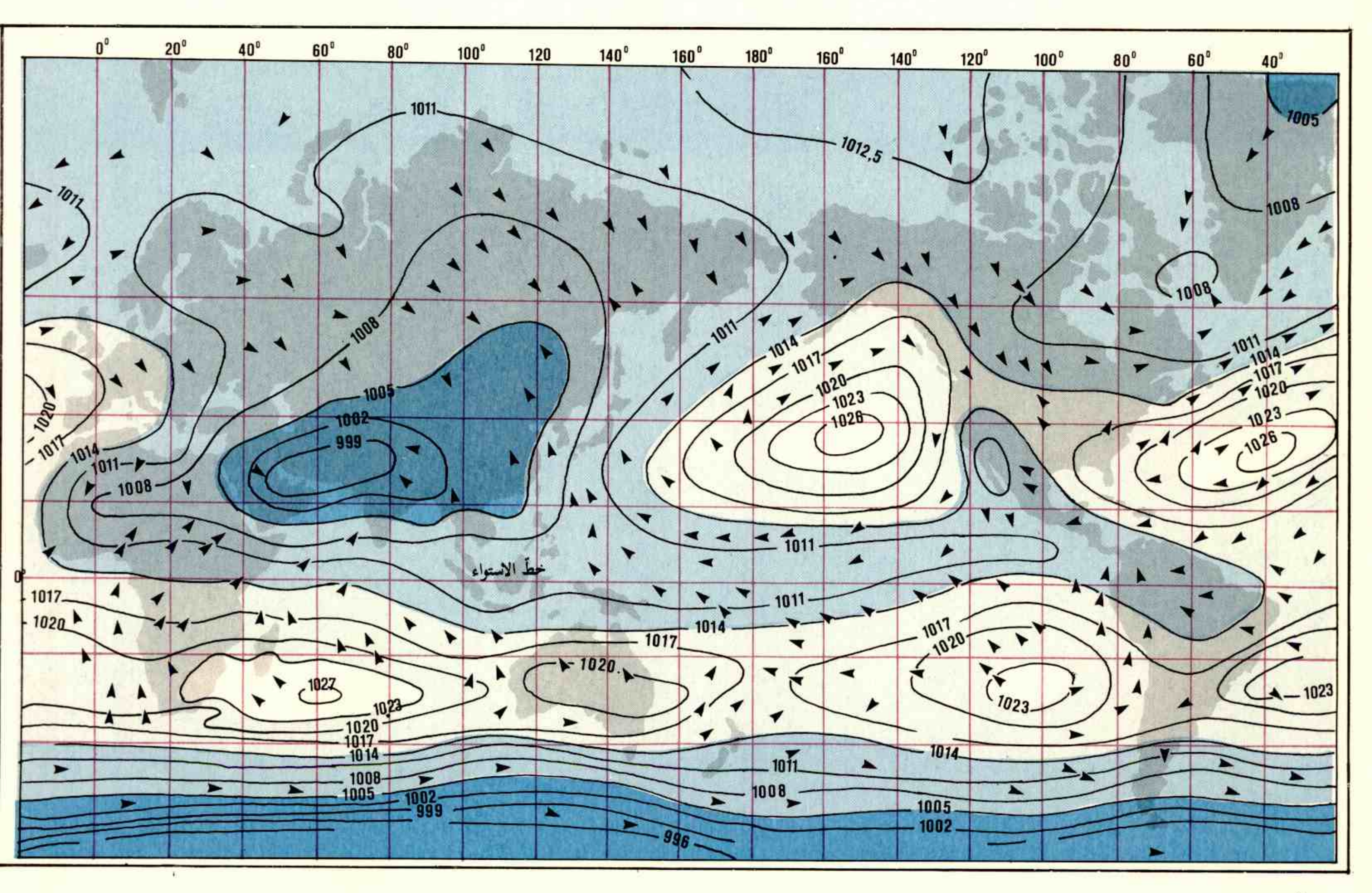


# الرياح وأشكال الماء في الغلاف الجوّي

لماذا تتنقل كتل الهواء البارد في اتّجاه كتل الهواء الحارّ ؟

**حركات الكتل الهوائية :**

إن متساوي الضغط ( أي العلاقة بين اختلاف الضغط وبين متساويين متعاقبين وبين المسافة الفاصلة بينهما ) غاية في الأهمية بالنسبة لدراسة تنقلات الهواء . **وإن التراكز بين الخطوط المتساويي الضغط يبين للأرصاديّ** تواجد مناطق معينة من الغلاف الجوي يكون فيها توازن الضغط مضطربا تحت تأثير عوامل مختلفة . وفي هذه الحالات نتحدث عن مناطق الضغط المرتفع أو الضغط المنخفض والتي تعرف على التوالي بالاعصارات المعاكسة والاعصارات . ولننظر الآن بالتفصيل إلى ما يمكن أن يحدث في مختلف مستويات الغلاف الجوي . لنتخيل منطقتين متجاورتين إحداهما تقع على مقربة من سطح الأرض وهي أشد برودة بينما الأخرى أكثر حرارة . فالأولى تتوفر إذا على ضغط أعلى من ضغط الثانية ، وبسبب مبدإ الدينامية الذي يجعل الاختلاف الضغطي بين نقطتين ينتج قوة تدفع المائع من الضغط الأكثر ارتفاعا إلى الضغط الأكثر انخفاضا ، وهذا المبدأ مماثل لمبدإ الأواني المستطرقة الذي سوف نتعرض إليه لاحقا . فكتلة الهواء البارد تميل في اتجاه الكتلة الأكثر حرارة . وتحدث حركة هوائية من منطقة إلى أخرى ، إلا أن هذه الحركة لا تدوم بصفة لا

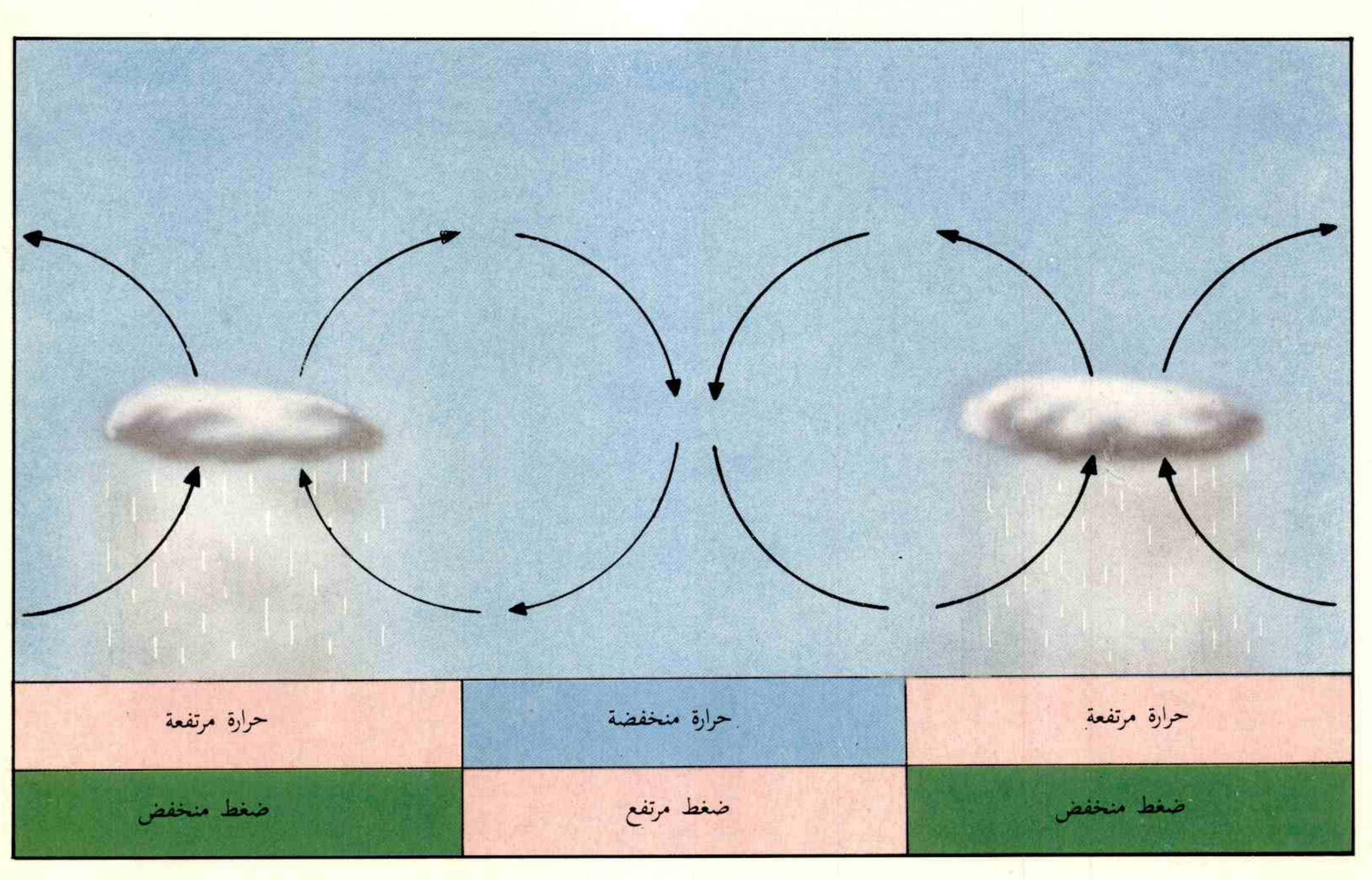



أسفله : خريطة توزيع الضّغط الجوّي المقاس على مستوى البحر .

محدودة وذلك بسبب اتصال الهواء البارد والهواء الساخن وإصابتهما بتغيرات حرارية ، وكذلك لأن الحركة لا تقف عند سطح الأرض لأنها على عكس ذلك تتأثر بكل ما يقع في المستويات العليا وبصفة عامة تكون أمام تقلب في درجات الحرارة عند مستوى 5000 و 5000م من الارتفاع . ويمكن توضيح هذا المفهوم بإعطاء مثال ملموس : لنعطي رقم « 1 » للمنطقة الباردة ذات الضغط المرتفع . ورقم « 2 » للمنطقة الحارة ذات الضغط المنخفض ، وكما رأينا سابقا ، فالهواء ينتقل من « 1 » إلى « 2 » حيث لا يتمكن من الاختلاط بالهواء السابق له فيقوم بدفعه في

الرسم أسفله يبين نموذجا لدوران الرّياح : وكما نلاحظ ، فحركة الكتل الهوائية ترجع إلى التّفاوت الحراري الذي يؤدّي الى تنقّل الهواء من مناطق الضّغط المرتفع إلى مناطق الضّغط المنخفض بالنّسبة للجزء الأقرب الى السّطح ، بينما تكون الحركة معاكسة عندما تكون عند ارتفاع معيّن . وعندما تلتقي كتلتان هوائيتان عند ارتفاعهما يحدث اضطراب مصحوب بالسّحب والأمطار ، وذلك لأن ارتفاع الحرارة يساعد على التبخّر وإلى ارتفاع الرّطوبة .

الاتجاه الأعلى . آنذاك ، يرتفع هواء المنطقة « 2 » ويبرد تدريجيا لكونه يوجد على درجات حرارية منخفضة ، ونظرا لتشتته وتقلص ضغطه ، تنخفض درجات حرارته ثم تتشتت الرطوبة التي يحتوي عليها على شكل سحب تعطي الأمطار والثلوج فيما بعد . وعلى ارتفاع معين ، تنقلب الآية فيميل هواء منطقة « 2 » إلى التنقل في اتجاه المنطقة « 1 » محدثا تراكمات هوائية في المنطقة « 1 » التي تبقى تحت ضغط مرتفع . وعند نزوله يصاب الهواء بارتفاع في الضغط يجعله يزداد حرارة وينضغط إلى أن يفتت كل الاضطرابات الجوية التي حدثت سابقا بفعل التكثف وهي على شكل سحب وأمطار وثلوج . وفيما يتعلق بوضع متساويات الضغط يمكن القول الآن إنه إذا كانت منطقة ضغط منخفض محاطة بمناطق ضغط أخرى مائلة إلى ارتفاع في الضغط ، أي إذا كانت متساويات الضغط تظهر على خريطة مناخية على شكل حوض ، فإن هواء المناطق المحيطة يميل إلى الاندفاع في اتجاه المركز لتعويض الندرة . هناك تزداد حرارة الهواء نتيجة انخفاض الضغط ويستمر هذا الهواء في الامتداد إلى أن يصل من جديد إلى المناطق الخارجية . وكل هذا يثير المجالات الاعصارية . وبالمقابل إذا كان رسم



## ماهي القوى المؤثّرة في الرّياح ؟

خطوط التساوي الضغطي في شكل قبة ، أي إذا كنا في نفس الوقت أمام منطقة مركزية حيث يرتفع الضغط ومناطق جانبية حيث يبقى منخفضا ، فإن الهواء ينطلق من المركز في اتجاه الخارج ، حيث يسخن ويرتفع يميل بعد ذلك إلى الرجوع نحو المركز ، وهكذا يولد إعصار معاكس . وحركات تعويض تخلخل الهواء التي تحدث والحركات التي ترجع إلى اختلاف في الضغط تسمى تيارات ارتفاع الهواء الساخن أو تيارات تأفق الهواء عندما تحدث بالتعاقب في اتجاه عمودي أو أفقي . وبعبارة أبسط فالأمر يتعلق بالرياح . ولنقف الآن عند القوى التي تؤثر في الهواء بصفة عامة وبالتالي على الرياح .

إننا قبل كل شيء نتصور الدور الذي تقوم به درجات الضغط التي تقيس اختلاف الضغط بين منطقتين معينتين . ففي المناطق الحارة ، يرتفع الهواء ويعوض بكتل الهواء البارد الصادرة عن المناطق الأكثر برودة ، وحسب هذا المنطق يمكن الاعتقاد أن هواء المناطق الاستوائية يمتد إلى غاية المناطق القطبية ، بينما ينخفض هواء المناطق القطبية إلى مستوى خط الاستواء . والحقيقة أن هذا التصور مبسط للغاية لأن سطح الأرض ليس متشاكلا ، وهناك اختلافات كبيرة بين الكتل المحيطية والكتل القارية . وكما رأينا سابقا ، فإن الأرض أسرع تدفئة من الماء . وهذا ما يثير العديد من الرياح المحلية التي يمكنها توقيف الاندفاع القاري للكتل الهوائية .

وعند معاينة الخرائط الارصادية التي ترسم فيها خطوط تساوي الضغط ، يمكن بسهولة التيقن من أن اتجاهات كتل الهواء ليست متوازية مع اتجاه درجة الضغط كما هو معتقد من قبل . وهذا يدل على أن هناك عاملا آخر يتدخل ويجعل خطوط الاتجاه مستعرضة بالنسبة لاتجاه الدرجة . ويتعلق الأمر بالتحريف الناتج عن دوران الأرض والمعروف بالقوة الاستئراضية وبسبب هذه القوة ، فإن الرياح القادمة من القطب الشمالي في اتجاه خط الاستواء تنحرف في الاتجاه الأيمن . ولذلك ، فإنها حين تصل إلى خط الاستواء ، تبدو وكأنها قادمة من الشمال الشرقي . وبالمقابل ، فإن الرياح التي تهب من القطب الشمالي تنحرف في الاتجاه الأيسر . وتمارس القوة الاستئراضية بالخصوص في حالة ارتفاع درجات الضغط .

وعلى سطح الأرض تتباطأ حركة الكتل الهوائية بفعل الاحتكاك الذي يعمل في الاتجاه المعاكس لاتجاه الريح وعند الرجوع إلى خطوط تساوي الضغط ، نلاحظ أن الريح التي تهب على مستوى الأرض ليست متساوية معها ولكن اتجاهها يشكل بالنسبة لها زاوية تتراوح ما بين 20 و 50 درجة . والعناصر المكونة للريح هي الاتجاه والسرعة والقوة . فالاتجاه هو الجهة الأصلية التي تأتي منها الريح وتحدد بواسطة مكشاف الريح . وسرعة الريح هي المسافة التي تقطعها في الثانية الواحدة وتقاس بواسطة المرياح . وحسب السرعة التي تجري بها الرياح ، نتحدث عن الرياح الضعيفة والمعتدلة والباردة والهواء القوي والرياح العاصفة والعواصف والاعصار . أما قوة الريح فهي الضغط الممارس على وحدة سطحية تضرب تعامديا ، وتقاس بواسطة مرياح الضغط .

وهناك أنواع مختلفة من الرياح . ويميز في تصنيفها بالدرجة الأولى ما بين الرياح الكوكبية والرياح المحلية . وتتميز الرياح الكوكبية بامتدادها الأقصى وقوتها الفائقة وتهم الكرة الأرضية كلها . وهي مرهونة بالاختلافات الكبرى في درجات الحرارة وبالضغط على الخصوص ، والموجود بين مختلف مناطق الكرة الأرضية . وبالمقابل فالرياح المحلية لا تهم سوى مناطق محدودة ، وهي ذات علاقة وطيدة بالظروف الحرارية والضغطية الخاصة بالمناطق المعينة . ويمكن



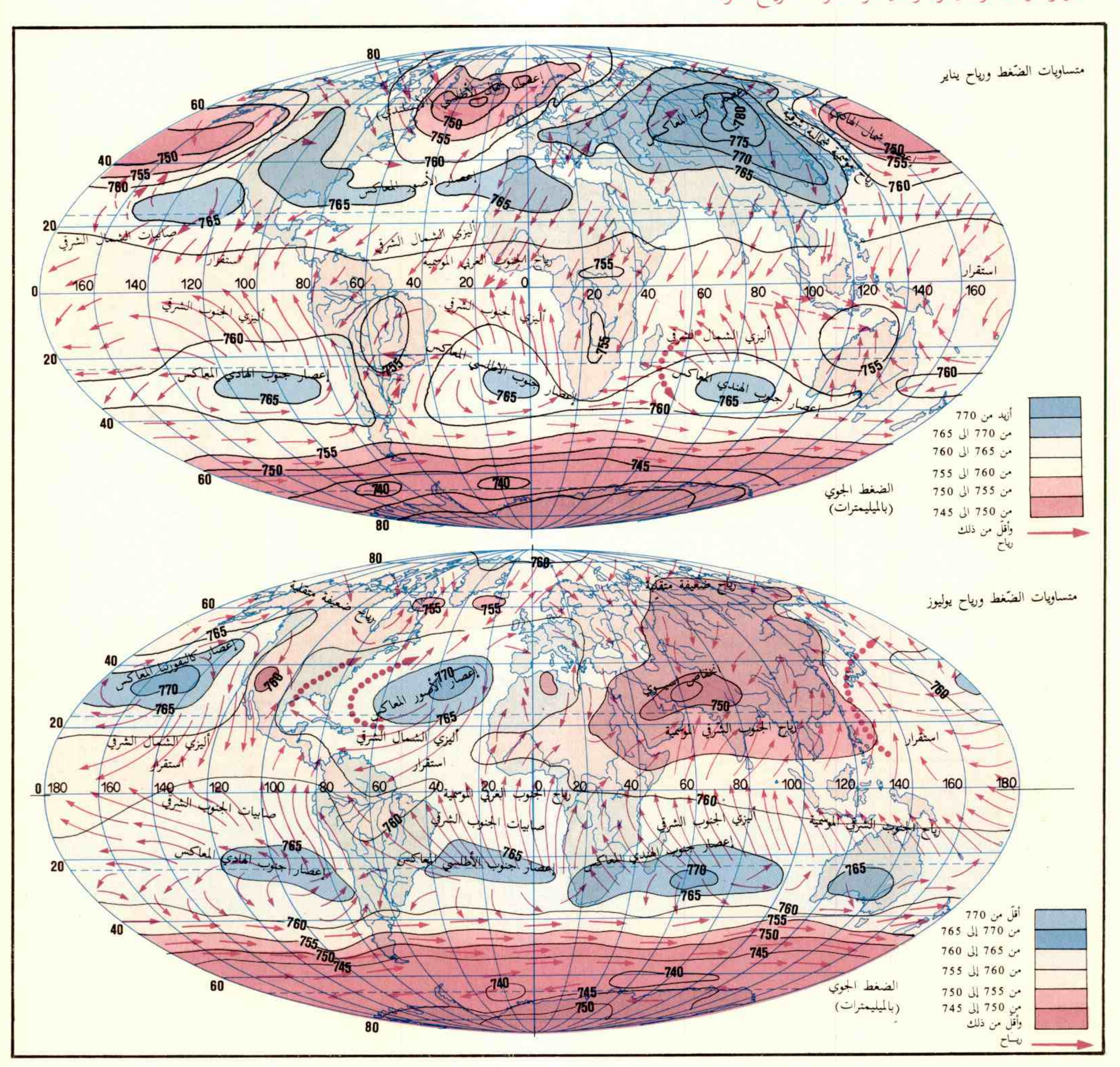
في الرسم جانبه ، (أ) يمثّل المجال الاعصاري و (ب) مجال الاعصار المعاكس .

ويمثل الرمز (+) الضّغط المرتفع والرّمز (–) الضّغط المنخفض . ومن الواضح أنه في حالات (أ) يجري الهواء من الخارج إلى الدّاخل ، بينما في حالات (ب) يمرّ من المركز في اتّجاه الخارج .

وهذا مثال لتكون المجالات الاعصارية والاعصارية المعاكسة ، وهي أساس كلّ الحركات الكبرى التي تصدر عن كتل هواء الغلاف الجوّي .

**كيف التّمييز بين مختلف أنواع الرّياح ؟**

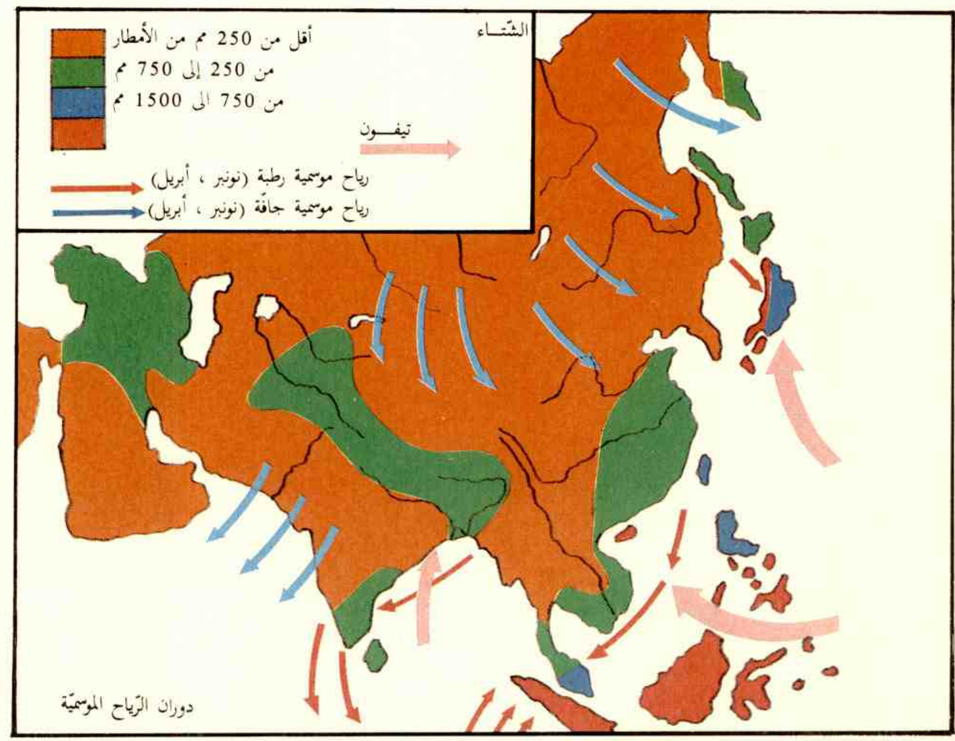
إذا أردت أن تفهم ما يجري على سطح الأرض ، فعليك بدراسة الخريطتين أسفله ، إنّهما تمثّلان متساويات الضّغط ورياح يناير ويوليوز على خارطة نصفي الكرة . ويظهر لنا كلّ من الاعصارات المعاكسة في كلّ من الأزور وجنوب الهند وكلفورنيا وغيرها . كما تظهر المناطق الاستوائية الهادئة التي لا تعرف حركات مهمّة ، وكذلك الرياح الموسمية والرّياح الدّورية . وتشير السّهام الحمراء إلى الرّياح المحليّة مثل كامبير والهارماتان والسّيمون والشينكوك . وهذه الرّياح تكون حسب البلاد التي تخترقها . ونلاحظ أيضا كيف أنّ السّهام الحمراء تنطلق من مجالات الاعصار المعاكس لتتنقّل نحو الخارج ، بينما هناك حركات نحو الدّاخل تصدر عن الاعصارات ولنقارن خريطة إعصار شمال الأطلسي (الرسم الأول) والاعصار المعاكس لجنوب الأطلسي (الرسمان الأول والثّاني) . أحيانا ذات نفس التيّار الهوائي الذي يتّخذ أسماء مختلفة.



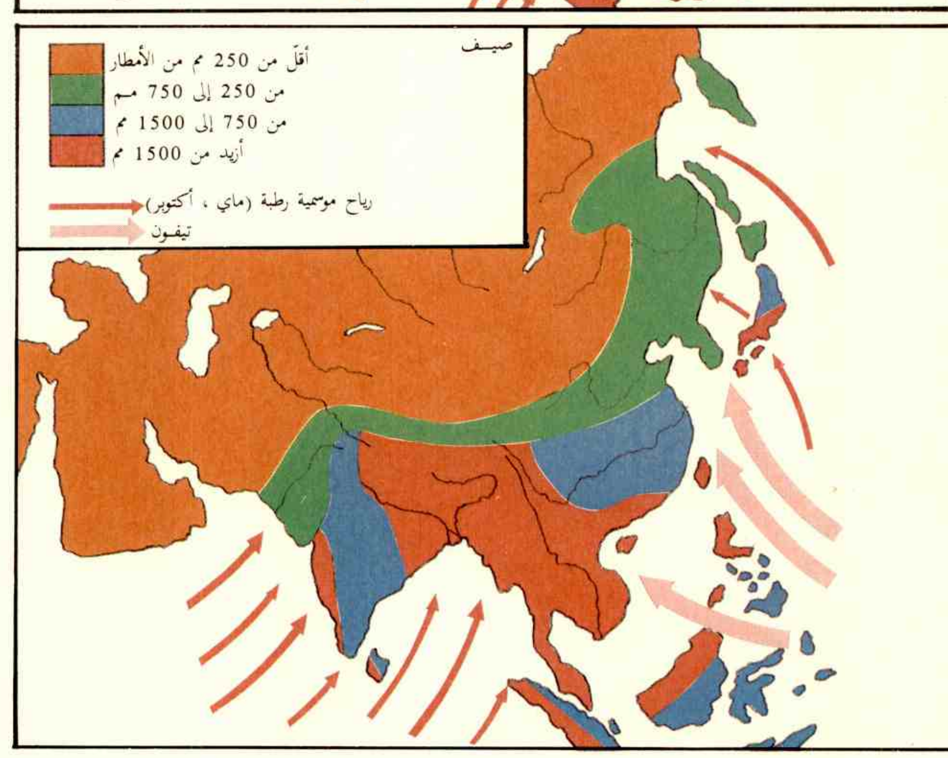
**لماذا تكتسي الرياح الموسمية أهميّة بالغة ؟**

كذلك تصنيف الرياح من حيث اتجاهها وانتظام حركتها ، إذ يميز ما بين الرياح القارة التي تهب على طول السنة والتي لا يطرأ عليها أي تغيير في الاتجاه والوجهة ، وبين الرياح الدورية التي تغير اتجاهها في كل موسم وبين الرياح المتغيرة أي غير المنتظمة سواء من حيث اتجاهها أو دوريتها .

ومن بين الرياح الكوكبية ، هناك الرياح الصابيات أو النُكيبات ( اليزي ) والرياح الغربية أو الرياح المعاكسة وهي بالأساس رياح قارة ، تصدر عن حركات كتل الهواء الواقعة



دوران الرّياح الموسميّة




عند خط الاستواء والمدارات . ويجب التذكير بأن الشريط الاستوائي شريط ذو ضغط منخفض بصفة دائمة لأن حرارة المنطقة تؤثر على ضغط الكتل الهوائية العليا وعلى حركاتها التي تصبح متصاعدة . وبالنظر إلى عمودية الحركة ، أي من أسفل إلى أعلى ، فإنه يتعذر ملاحظة الظواهر الريحية رغم أن هناك في الحقيقة بعض الرياح المحلية الضعيفة ، ولهذا السبب سمي هذا الشريط بمنطقة الرياح الهادئة الاستوائية أو منطقة التقارب البَيْمدارية . وتوجد المدارات ، كما هو معلوم ، شمال وجنوب خط الاستواء ، وكذلك المناطق المعروفة بالشبه الاستوائية حيث تمتد مجالات الاعصارات المعاكسة التي يكون فيها الضغط مرتفعا . وفي هذه المناطق ، يكون هواء الطبقات العليا في الغالب باردا وجافا ، وينخفض في اتجاه الطبقات السفلى حيث يتلقى ضغطا مرتفعا يجعله أكثر جفافا وحرارة . وعلى مستوى الطبقات السفلى يميل هذا الهواء إلى التنقل في اتجاه خط الاستواء محدثا الرياح الصابيات ، وهذه الرياح على عكس ما كان معتقدا في القديم ، لا تتبع اتجاه خطوط الزوال ، بل تتأثر بالقوة الاستئراضية التي تغير اتجاهها نحو الجنوب الغربي والشمال الغربي حسب نصف الكرة الأرضية : ويهم أول تغيير صابية الشمال الشرقي التي تنزل من مدار السرطان . أما التغيير الثاني فيهم صابية الجنوب الشرقي القادمة من مدار الجدي .

وتهب الرياح الغربية من الشمال الغربي في اتجاه الشمال الشرقي عند النصف الشمالي للكرة ، ومن الشمال الغربي في اتجاه الجنوب الشرقي عند النصف الجنوبي للكرة ، وهي أكثر انتظاما في النصف الجنوبي مما هي عليه في النصف الشمالي ، وتتميز بشدة اضطرابها وميلها إلى الارتباك . وفي البحار العالية تثير أمواجا عالية قد يصل ارتفاعها أحيانا إلى 20 مترا .

ومن بين الرياح الدورية هناك الرياح الموسمية التي ترجع إلى تناقض حراري فصلي بين المحيط والكتلة القارية . ويمكن أن تهب في جميع المناطق التي تتواجد فيها المحيطات والقارات ، ولكنها لا تؤثر على حياة الانسان إلا في آسيا وبالضبط عند سواحل المحيط الهندي . وهذا المحيط هو الوحيد الذي ليست له أية صلة بالمحيط المتجمد الشمالي ويحتل حوالي نصف الكرة بالاضافة إلى الكتلة القارية التي تساحله . ومن البديهي أن توجد بين هاتين المنطقتين تناقضات حرارية شديدة . وفي الصيف تكون كتل الهواء الواقعة على القارة في النصف الشمالي للكرة حارة وتحت تأثير الضغط المنخفض . وفي نفس الوقت يكون المحيط الموجود في النصف الجنوبي للكرة، حيث فصل الشتاء،

تحت تأثير الكتلة الهوائية الباردة ذات الضغط المرتفع التي تميل إلى التنقل في اتجاه مناطق الضغط المنخفض . آنذاك تتكون الرياح الموسمية البحرية المشحونة بالرطوبة والأمطار . وبالمقابل ، حين يكون الفصل شتاء في القارة تنقلب وضعية الضغط ، الشيء الذي يجعل الرياح تهب من الأرض في اتجاه البحر ، وتكون بطبيعة الحال جافة .

ويشبه النسيم الريح الموسمية ولكنه يتميز بقصر مدته ، ويهب من البحر في اتجاه الأرض خلال النهار ومن الأرض في اتجاه البحر خلال الليل وذلك بسبب التناقضات الحرارية الموجودة ما بين الماء والصخور . ويوجد كذلك الهواء الجبلي وهواء الأودية وكلاهما يهب من الجبال نحو الوادي خلال الليل وفي الاتجاه العكسي خلال النهار . وبصفة عامة يجب ربط هذه الظاهرة باختلافات الضغط ، على إثر ارتفاع حرارة الأرض بالنسبة للأرض . وذلك ما يحدث خلال النهار ، في حين يرسل البحر خلال الليل حرارته فيسخن الهواء الموجود فوقه ثم يجتذب الهواء البارد الواقع فوق الأراضي .

والرياح المتغيرة المشهورة هي الرياح الشرقية ( الشلوق ) والمسترال ( أو الريح الشمالية العنيفة ) والبورة ( الشمْأل الألْبي ) ثم الفونة ( حَرُور الألب ). وقد رأينا سابقا أن الرياح المتغيرة تهب دون انتظام زمني ، وهي مرهونة بعوامل محلية . والرياح الشرقية (أو الشلوق) تهب من الجنوب الشرقي وتنطلق حارة وجافة من الصحراء حارة ورطبة إلى

## كيف يتكوّن النّسيم ؟

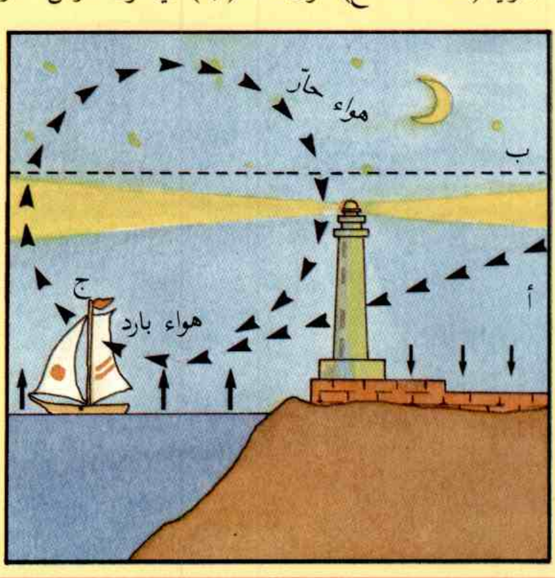
تكوّن النّسيم :

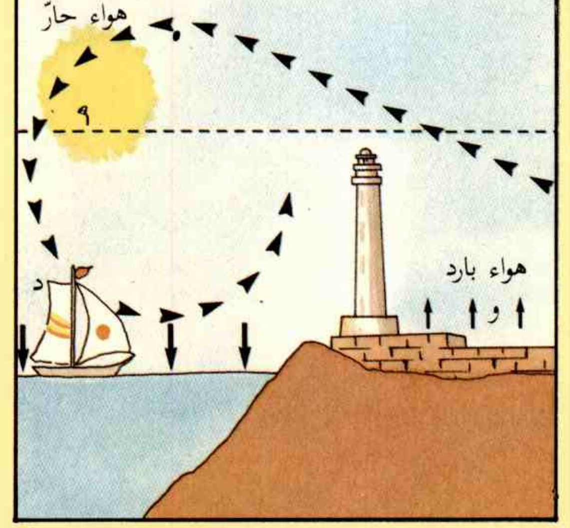
إن معدّل الحرارة التي يتلقّاها سطح الأرض تحت المدارين يفوق بكثير ما يضيع منها عند الاشعاع . أما خارج المدارين فالآية معكوسة ، إذ أنّ مايضيع من الحرارة أكثر مما يتبقى على سطح الأرض .

ويقوم تنقّل الهواء بدور المنظم حيث يحول دون تزايد الحرارة في المدارين كل سنة ودون تضاعف البرودة في القطبين . ومن الأمثلة على هذا الدّور التّنظيمي ، ما يظهر من تناقص بين المناطق السّاحلية حيث يهبّ نسيم البحر خلال النهار في اتّجاه الأرض كما يحلّ نسيم الأرض خلال اللّيل محلّ الرياح البحرية فيهبّ في اتّجاه البحر .

**نسيم البحر** (1) : خلال النّهار يتوسّع الهواء ويصعد فوق الأرض الشّديدة الحرارة . ويحدث عند (أ) انخفاض في الضّغط الجوّي . وفي الارتفاع يكون الضّغط الجوي (الخط المتقطّع) أقوى عند (ب) أي فوق الأرض أكثر مما هو عليه فوق البحر . آنذاك يهبّ الهواء العلوي من (ب) في اتّجاه البحر . أما عند (ج) . فالهواء يتدفّق مما يضاعف من الضّغط ، وعند ذلك ينجذب هواء (ج) نحو الضّغط المنخفض (أ) . ويحدث عند صفحة الماء ريح تنطلق من البحر (ج) في اتّجاه الأرض (أ) .

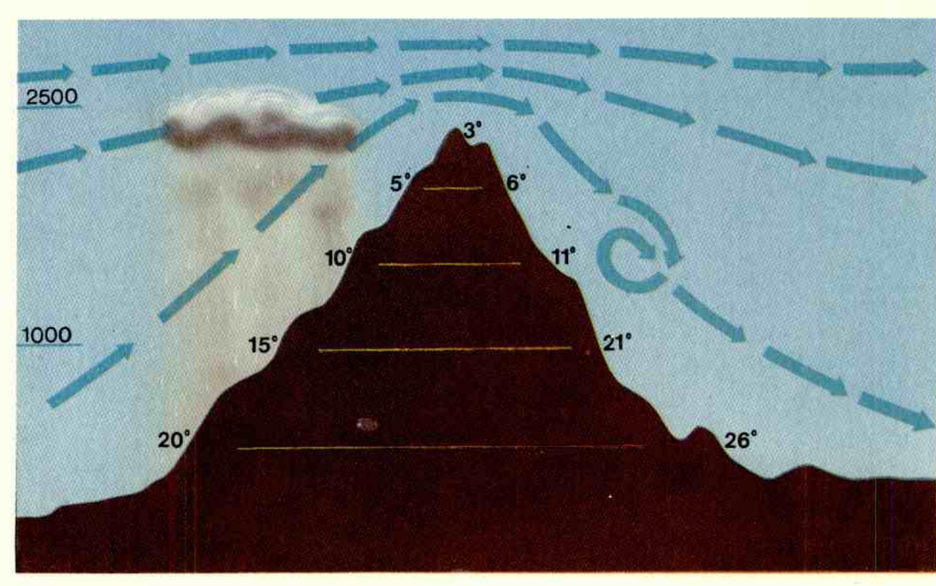
**نسيم الأرض** : (2) خلال اللّيل ، تشتدّ برودة الأرض ، بينما تستقرّ درجة حرارة مياه البحْر . وتنقلب الآية حيث يتوسّع الهواء ويصعد فوق البحر ، فينتج عن ذلك انخفاض في الضّغط الجوّي عند (د) . وعند الارتفاع (الخطّ المتقطّع) ، يرتفع الضّغط فوق البحر (هـ) أكثر مما هو عليه فوق الأرض . وهكذا سوف يتدفّق الهواء العلوي نحو الأرض . وآنذاك يزداد الضّغط الجوّي عند (و) . وعلى مستوى سطح الأرض ، يسود ضغط مرتفع ، في حين يعمّ الضّغط المنخفض فوق البحر ، وتهبّ الريح من الأرض في اتّجاه البحر .






الظّروف الحرارية والضغطية التي تحدّد هبوب كلّ من هواء البحر وهواء الأرض .



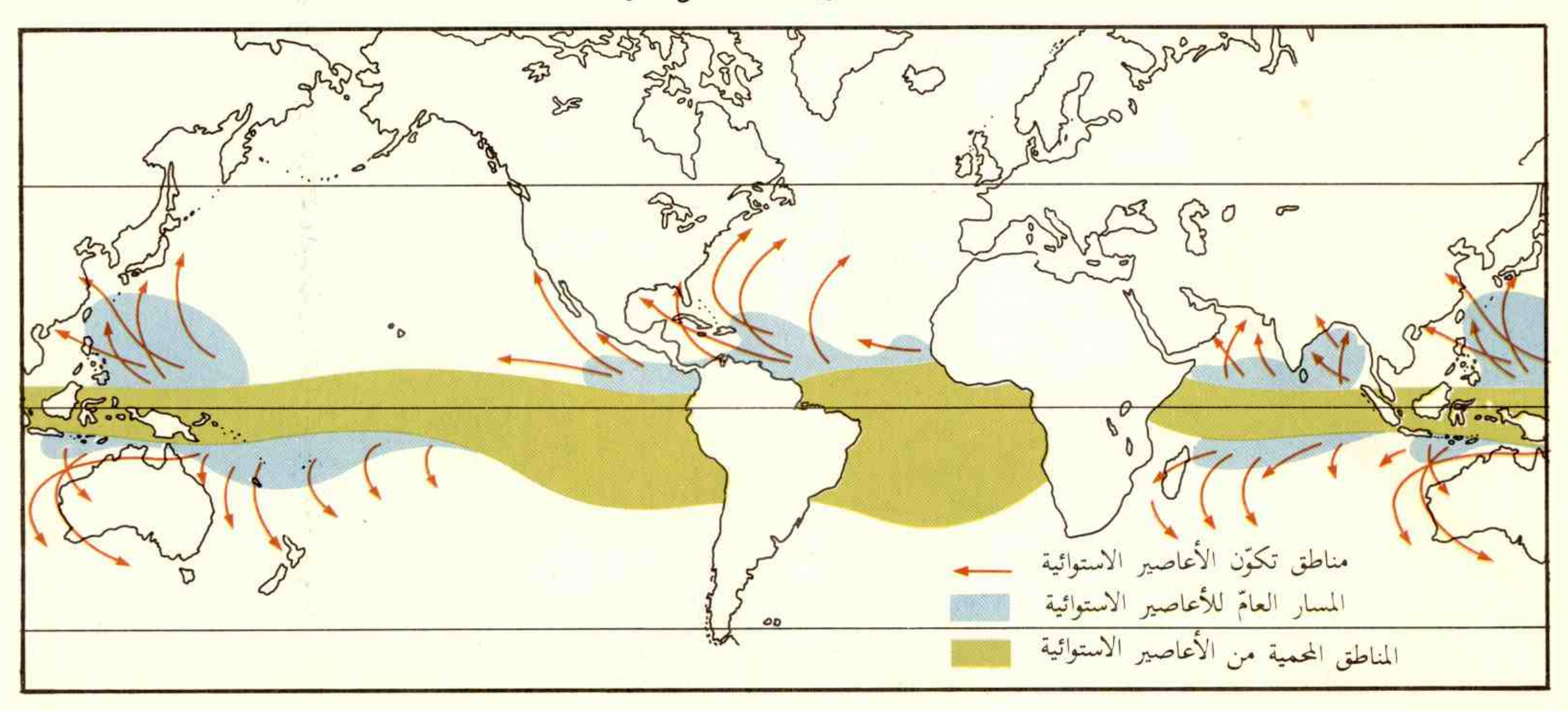

المناطق المتوسطية لأنها تخضع لجاذبية المناطق ذات الضغط المنخفض التي تتشكل هناك في فصل الشتاء .

والمسترال ريح باردة وجافة وعنيفة . وهي تنزل في المناطق الباردة وسط فرنسا وتجذبها المناطق المتوسطية ذات الضغط المنخفض خلال فصل الشتاء . ففي حالة المسترال تكون السماء خالية من السحب ودرجات الحرارة عند الصفر .
أما البورة فهي ريح مماثلة للمسترال وهي تأتي من المناطق الباردة في سهل الدانوب وتصل إلى غاية بحر الأدرياتيك مرورا بالكارست . وعند وصولها إلى سواحل الأدرياتيك تهب هناك بعنف حاملة معها درجات حرارة جد باردة .

وبالمقابل فالفونة ريح حارة وجافة تهب على جبال الألب وخاصة خلال الفصول المتوسطة ومصدرها يكتسي صيغة خاصة تتطلب دراسة معمقة . وإذا عاينّا الكتل الجوية القادمة من الجنوب والتي ترتطم بالسفح الايطالي لجبال الألب الواقعة في الجزء الجنوبي من القوس الألبية ، فلكي تتمكن من التوجه نحو الشمال ، حيث سويسرا والنمسا يجب على هذه الكتل أن ترتفع وبالتالي أن تبرد وتتخلص من كل رطوبتها التي تسقط على شكل أمطار وثلوج وعلى قمة السفح تكون باردة وأكثر جفافا أيضا ، وبعد أن تتجاوز القمة فهي تصبح أكثر حرارة ، إذ يمكن أن

الرسم أعلاه : تكون رياح الفويهن .

الرسم أسفله : خريطة لمناطق تكون الأعاصير الاستوائية ودورانها العامّ . ولنلاحظ كيفية تشكل هذه الأعاصير : فكما هو معلوم ، فالرياح ، التي هي عبارة عن تيّارات هوائية ، يثيرها اختلاف في الضّغط الذي يرجع بدوره إلى اختلاف في الحرارة . ولنتخيّل ما قد يحدث في خطوط العرض عندما يأتي التيّار القطبي البارد ، الهابط في اتّجاه الشّمال الشّرقي ماسحا الأرض ، ليلتقي بالتيّار الاستوائي الحارّ الذي يصعد من الجنوب الشّرقي : فاصطدام هاتين الكتلتين الهوائيتين يثير موجات تنتشر مابين الطّبقتين اللّتين تجري إحداهما فوق الأخرى ، بينما تتكوّن في مناطق الانفصال انخفاضات مضغاطية مباغتة . ويؤدّي كلّ ذلك إلى تكوّن السنة هوائية حارّة وباردة ، تدفع الأولى الثّانية إلى أن ينشأ عنها حويض يعتبر بمثابة نواة الاعصار . وتتبع السنة الاعصار المنحنى وتحيط بالهواء الحارّ العازل فتجعله يصعد في حركة دورانية . وهكذا يتكوّن الاعصار ، ولا يلبث أن يفقد من طاقته حيث يستحيل إلى مجرّد دوّامة هواء بارد .

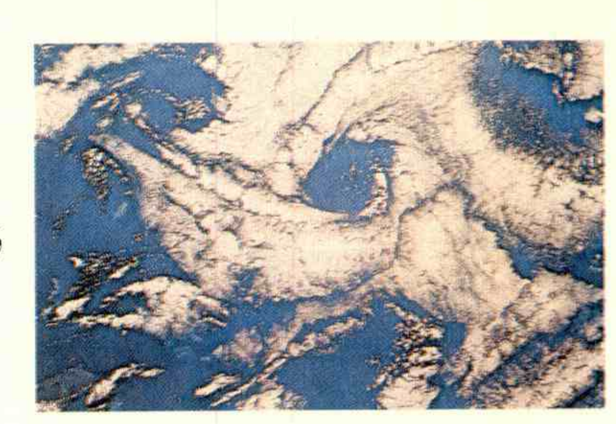


تتضاعف حرارتها بـ 15 درجة مئوية . فالفونة غاية في الخطورة لأن حرارتها تسبب ذوبان الثلوج المباغث مما يسبب في الانجرافات الثلجية . وتوجد فوق الجبال الصخرية بالولايات المتحدة ريح مماثلة تعرف بالشينوك وكذلك في إيران وتعرف بالسمول وفي سُومَتْرا وتعرف بِبُوكْرُوك .

وهناك رياح مماثلة أخرى مثل رياح الصحراء ـ ومنها ريح السموم التي تهب من الجزيرة العربية في اتجاه الصحراء والغبلي التي تهب من صحراء ليبيا في اتجاه طرابلس والخماسين بمصر والحارور بإفريقيا الغربية والبومبروس بالأرجنتين والكْربِيتز بروسيا . وأغلب هذه الرياح جافة وبالغة الحرارة .

## كيف تتكوّن الأعاصيـر ؟

أما الأعاصير والتّيفون والزوابع فهي رياح غير منتظمة وعنيفة جدا لها قدرة تدميرية خارقة بسبب حركاتها التي تتم على شكل دوامة . ويتعلق الأمر بكتل هوائية ضخمة تنتقل بسرعة فائقة وبإمكانها تخريب قرى بأكملها وإثارة تلاطم أمواج البحر وقد تغرق البواخر في عرض البحر .



إعصار استوائي مصوّر بواسطة قمر اصطناعي ارصادي . أسفله ، صورة نادرة لتشكّل عمودين مائيين بكيفة متزامنة ، وتحدث هذه الظّاهرة في البحر عندما ينشأ به إعصار يتّخذ شكل كتلة هواء مدوّمة تثير دوران الماء الذي يبدو وكأنّه عمود صلب ينطح السحاب . ويمكن مشاهدة مثل هذه الزّوبعة الخطيرة في حالة تفاوت حراري مباغث بين مستوى الأرض والهواء الموجود فوقه ، حيث يترتّب عنه تيّار متصاعد .

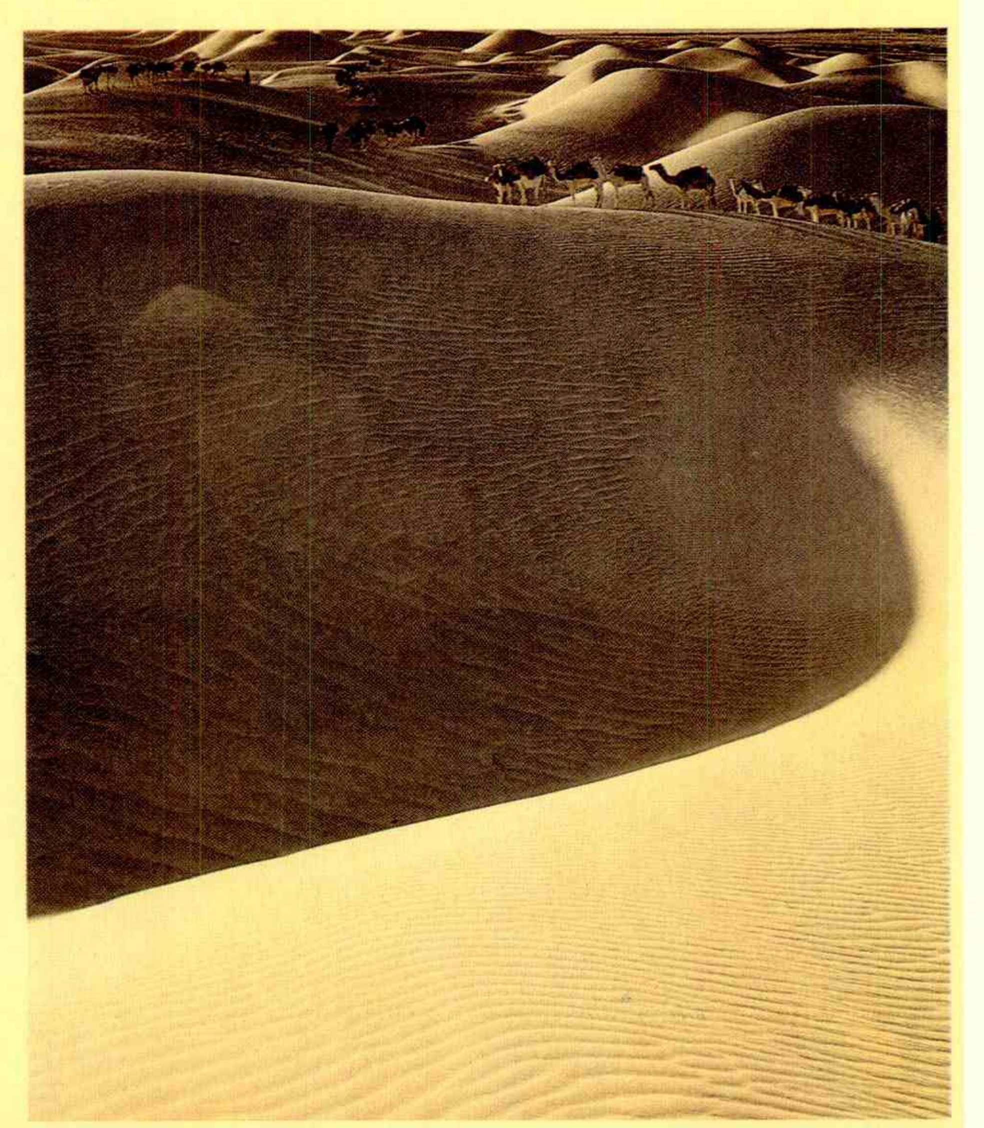
## عمل الريـاح

إن الرّياح الحارّة والجافّة التي تهبّ على المناطق الجافّة تلعب بها دورا تحويليا مهمّا ، وخاصّة بالنظر الى كون هذه المناطق لا تتوفّر على غطاء نباتي ولا تمسّها العوامل التّشكلية كالمياه الحاتة مثلا ، إلّا بكيفية جزئية . فالريح هي التي تقوم بحتّ التّربة بطريقة آلية تتجلّى في انتزاع الجزيئات الدّقيقة وأجزاء التربة والحتات . وتختلف عمليات الريح باختلاف مقاييس الموادّ المقتلعة . فالجزيئات الدقيقة تنقل عبر مسافات بعيدة ، ومنها مثلا مطر الدّم الذي يصل إلى غاية أوروبا انطلاقا من الصّحراء ، ويسمى كذلك للونه المحمّر . كما أن الحتات ينقل تدريجيا ويصطدم بالصّخور ويقوم بحتها أونخبها وذلك حسب صلابتها وحسب مقاييس المقذوفات الحجرية التي تصيبها . أما قطع التّربة فتتدحرج على السّطح وتقوم بتفتيت الجزيئات وحتّ الصّخور التي تعترض الرياح .

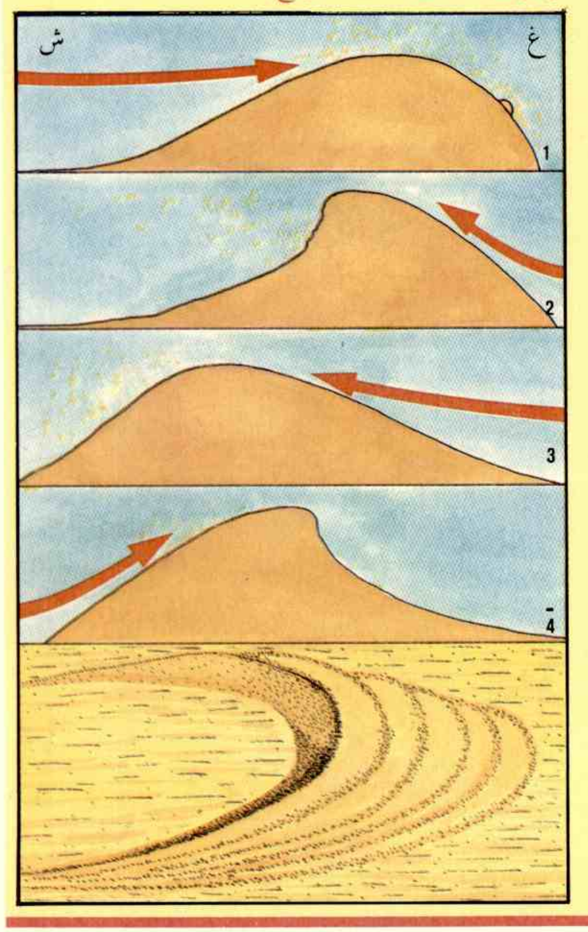
وتتمثّل أهمّ المناظر للصّحراء في الصّخور المخرقة والشعاب ذات الجدران المرملة ، وطبقات الحتّ المتعاقبة والكثبان وركامات الرمال الدّقيقة المودعة من قبل الريح عندما تواجه حواجز طبيعية . وبعد تشكّل الكثُب ، فهو لا يبقى على حالته الأولى مدّة طويلة ، لأنّ الريح المسفة تدحرج حبيبات الرّمل على الطّرف الأعلى من الكثب ، وهكذا تتساقط الحبيبات تحت تأثير الجاذبية لتضاف إلى إيداع السّافلة التي تنتقل بفعل قوّة الريح .

إلا أنّ الكثبان الكبرى لا تتنقّل إلا قليلا لأن مياه الأمطار النّادرة تنفذ إلى أعماقها وتثبت قاعدتها .

وتعدّ المكثبة نموذجا خاصّا ، وهي حقل من الكثبان المنتشرة في الصّحراء برمالها الوافرة والدقيقة ، وتكون تشكّلاتها المرملة في الغالب ثابتة وقارة .



الرسمان أسفله : الأوّل يبيّن مراحل تطوّر أحد الكثبان وفق اتّجاه الرياح ، والثاني يظهر بنية كثب في بارخانا وهو من نماذج المكثبة الصّحراوية . ونلاحظ المنخفض الأوسط والقرنين التّابعين لاتّجاه الرياح .



## الغلاف الجوي والماء :

كما أشرنا إلى ذلك سابقا ، فالغلاف الجوي يحتوي وخاصة في طبقته الأقرب إلى القشرة الأرضية ، على كمية معينة من بخار الماء الصادر أساسا عن تبخر مياه السطح بما فيها المحيطات والأنهار والبحيرات ، ومن تنفس الأجسام الحية .

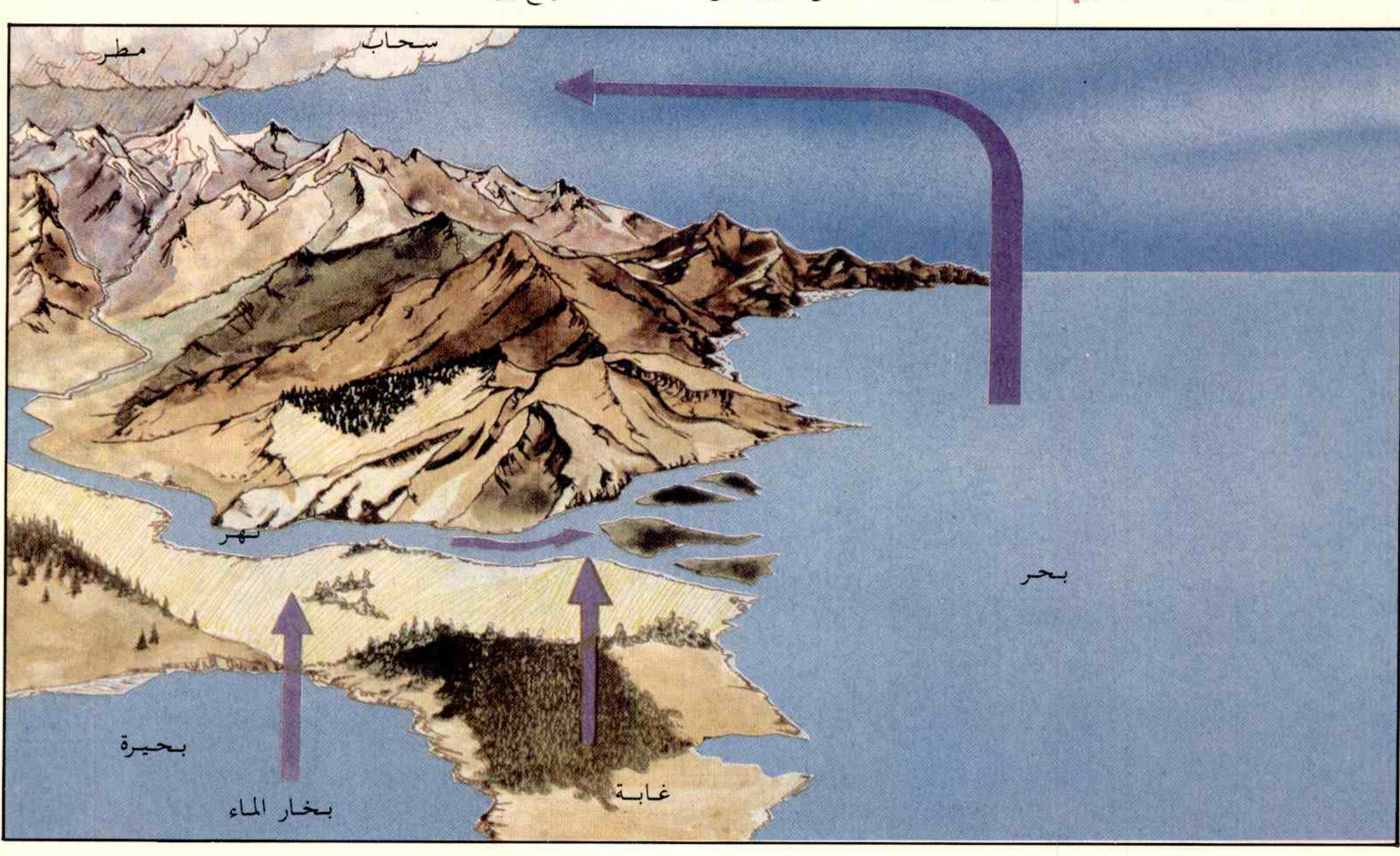
ومجموع كمية بخار الماء الموجودة في الهواء هي الرطوبة الجوية المقسمة إلى رطوبة مطلقة ورطوبة نسبية . فالرطوبة المطلقة هي الوزن الحقيقي لبخار الماء الذي تحتوي عليه الوحدة المعيارية التي هي المتر المكعب . أما الرطوبة النسبية فهي العلاقة بين كمية البخار الموجودة في مقدار معيّن من الهواء وبين الكمية التي يمكن لهذا المقدار نفسه أن يتضمنها في ظروف حرارية مماثلة . ولتوضيح هذه المقارنة يجب التذكير بأن الماء ، على غرار جميع السوائل ، يصاب بتبخير يمكن لارتفاع الحرارة أن يضاعفه ويعجّله . إلا أنه عند درجة حرارية متساوية تتبخر كل السوائل إلى حد معين يعرف بنقطة التشبع حيث يتم التوازن بين الكتلة المتبخرة والكتلة السائلة المتضمنة في أي وعاء . وهنا يعتبر الهواء الجوي بمثابة وعاء أيضا . وإذا عرفنا كل المعطيات المتعلقة بكمية محجامية من الهواء توجد على درجة حرارة معروفة فإن الارصاديّ يمكنه أن يضع النسبة المئوية من البخار التي بإمكان هذه الكمية أن تختزنها قبل تشبعها . وكل هذه المعطيات ذات أهمية في حقل الأرصاد الجوية لأنه عندما يعود جزء من ذرات البخار إلى حالته السائلة ويقع التوازن الذي تحدثنا عنه سابقا ، فإن ذلك يؤدي إلى التكاثف أو التسييل الذي هو أساس الظواهر الجوية المائية ومنها الضباب والسحب والندى والصبر ( الملاح ) والثلج والوبْل .

ويساعد انخفاض الحرارة في الغلاف الجوي على التسييل ، وإذا كان التبريد شديدا فيتم الانتقال من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة أي إلى التصعيد ( التّسَام ) . ويُسبِّب تبريد الغلاف الجوي في عدة ظواهر جوية كما يتسبب فيه الاتصال بين الكتلة الهوائية وسطح بارد واختلاط الكتل الهوائية ذات درجات حرارة مختلفة ثم انتقال الكتل الهوائية من منطقة ضغط مرتفع إلى منطقة ضغط

---

تحتوي الطّبقة الجوّية الأقرب إلى الأرض على كميّة كبيرة من بخار الماء . ويمثّل مجموع كمية بخار الماء الرّطوبة الجوّية ، وهي ذات أهميّة بالغة في دراسة أشكال الماء في الجوّ ، أو ما يعرف بالظّاهرة الجوّية المائية . في الرّسم أسفله ، نلاحظ دورة الماء الكاملة وهي غنيّة عن التّعليق .

**ماهو الفرق بين الرّطوبة المطلقة والرّطوبة النّسبية ؟**



## لماذا يتكوّن الضّبـاب ؟

منخفض . والندى مثال نموذجي للحالة الأولى ، وهو يتكون عندما تنخفض درجات حرارة الأرض بالنسبة لحرارة الهواء حيث يبلغ مستوى يعرف بنقطة الندى . ويسقط الندى عند غروب الشمس خلال الفصل الحار ، وهو يتكون من عدد هائل من قطيرات الماء التي تغطي سطح الأرض وكل ما تقع عليه من أزهار وأوراق وأعشاب . وإذا انخفضت درجة حرارة الأرض تحت نقطة التجمد ، أي صفر درجة بالنسبة للماء ، يأتي الصبر المكون من العديد من البلّورات الثلجية الصغيرة التي تصدر عن تصعيد أو تجمد الندى . وفي حالة الاتصال بين كتل الهواء والأراضي الباردة في ظروف الرطوبة القصوى ، تتشكل قطيرات دقيقة تبقى معلقة في الهواء ويمكن للريح نقلها بسهولة . ويتعلق الأمر في هذه الحالة بالضباب المتكون بالخصوص في فصل الشتاء عندما يلتقي الهواء البارد بمجالات سائلة أكثر حرارة أو في فصل الصيف عندما يلتقي الهواء الحار والرطب بكتلة مائية أكثر برودة . وفي غالب الأحيان يتكثف بخار الماء على شكل طبقات واسعة تعوق النظر إلى الأشياء . وكلما كانت الرؤية ممكنة أي على بعد كيلو متر واحد فنحن أمام **ما يعرف بالضباب** .

وتتكون الضبابة والضباب والمطر عندما يحدث امتزاج بين مختلف الكتل الهوائية ، ويحدث ذلك بالخصوص في المناطق الساحلية حيث يتم التقاء الكتل الهوائية ذات الحرارة المختلفة بصفة مستمرة . ويجب التذكير بالتناقض الحراري الموجود بين البحر والأرض وبين كتلهما الهوائية ، إلا أنه في إطار الأرصاد الجوية تكون أهم حالة هي التي يحدث فيها تبريد الجو بسبب انتقاله من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض ، وتهم مناطق جد شاسعة ، وهي تتكون بسبب التصاعد البطيء لكتل هوائية جد ضخمة أو لأعمدة هوائية حارة ورطبة تصبح تدريجيا جافة وباردة أو بسبب التقاء الكتل الهوائية ذات الحركة الأفقية بالنسبة للتضاريس . وعند الارتفاع تثير برودة الجو تكون السحب التي تبقى كما هي عندما تكون معلقة في الأجواء والتي

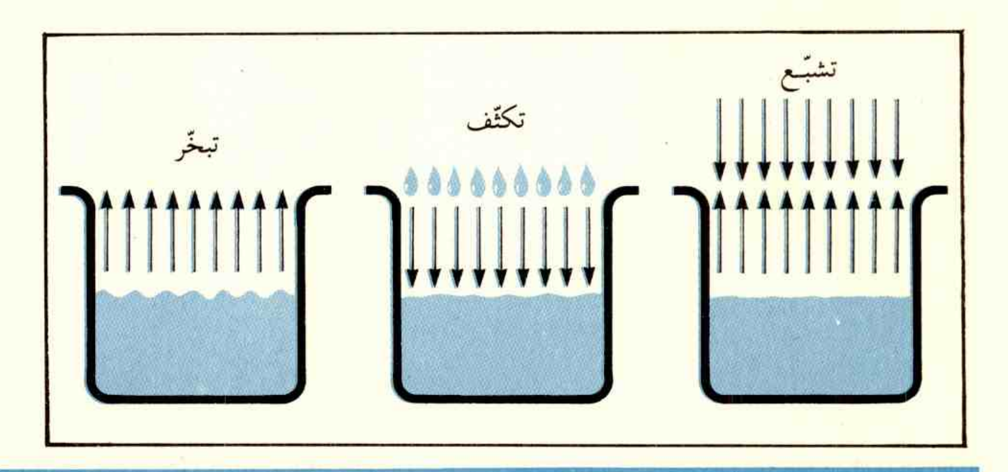
### التبخر والتكثيـف :

إن كمية بخار الماء التي يحتوي عليها الهواء هي التي تمثّل الرطوبة الجوّية . وتتفاوت كمّيات البخار حسب الزّمان والمكان ، وذلك لأن قياسها يتمّ إما خلال النّهار أو اللّيل ، في الصيف أو في الشتاء . وللحصول على منهج قياسي متواطئ ، لابدّ من اعتبار النقطة التي لم يعد يتلقى الجوّ عندها بخار الماء ثم درجة حرارة تلك النّقطة ، لأن هناك تناسبا مابين درجة الحرارة وكمية البخار الموجود في الجو . ويتعلّق الأمر بمعرفة آلية التبخّر والتشبّع (يكون الجوّ متشبعا حين يصير غير قابل لتلقّي بخار الماء) .

ولنأخذ الآن كتلة ماء تكون ذراتها مهيجّة بفعل الطّاقة الحركية التي تحتوي عليها والتي ترتبط بدرجة الحرارة . **فحين تتّخذ تلك الذرات سرعة كافية ، فهي تميل إلى** الافلات من جاذبية ذرات أخرى وخاصة منها الموجودة على السّطح ، وذلك لأنّ الاتصال بين ذرات الماء ضعيف جدّا . وهكذا يحدث التبخّر ، أي الانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الهوائية . إلا أن عملية التبخّر لا تتواصل إلى ما لا نهاية ، لأن التزايد المستمر للذرات الهاربة يثير ارتفاع ضغط البخار على سطح السائل ، الشيء الذي يترتّب عنه انتقال بعض الذرات إلى الحالة السائلة (عملية التكثّف أو التّسييل) ثم توقف نسبي لسيرورة التبخّر . وعند نقطة معينة ، ينشأ توازن مابين التّكثيف والتبخّر ، أي أن الكتلتين الهوائية والسّائلة تتوقّفان عن التحول والتّغيير ، وذلك مايعرف بمرحلة تشبّع الهواء عند بلوغه درجة حرارية معينة .

وعندما ترتفع الحرارة ، ينخفض ضغط البخار على سطح الماء ، وذلك بسبب التوسّع الذي يصيب البخار ذاته ، ثم يعاد التبخّر ثانية إلى أن يبلغ مرحلة التوازن .

أما حين تنخفض الحرارة ، يرتفع ضغط الهواء ونكون أمام الحالة المعاكسة إذ تعود كمية الذرّات إلى حالتها السائلة ويفوق عددها عدد الذرات الفالتة ، وفي هذه الحالة يسود التّسييل .



لماذا تتكوّن السحب ؟



عند إلتقاء كتل الهواء مع سطح دافئ ، وفي ظروف الرطوبة الشّديدة ، يتكوّن الضّباب بسهولة ، وهو عبارة عن قطيرات دقيقة من بخار الماء التي تبقى معلقة في الهواء وتنقلها الرياح في غالب الأحيان . (الصورة اعلاه) .



جزئيات المواد الكيماوية . فالسحب إذن عبارة عن تراكم قطيرات الماء في قطر أقل من جزء المائة من الميلمتر ، وتصنف حسب شكلها وتكونها ، إلى قزع ( نغاض ) وسديم ( رهج ) . فالأولى هي سحب تكتل تتطور عموديا

تتحول إلى أمطار وثلوج أو وبل إذا ما تضاعف حجمها ووزنها ، الشيء الذي يجعلها تسارع نحو الأرض تحت تأثير قوة الجاذبية . وسيرورة تشكل القطيرات المكونة للسّحب لا تتم دون علاقة بنوى التكثف والتسييل . وهي عبارة عن جُزَيْئات استرطابية موجودة بكثرة في الطبقة الجوية السفلى ، وهي عندما تبلغ الرطوبة درجة التشبع ، تجتذب ذرات بخار الماء . وتتكون الجزئيات الاسترطابية من بلورات كلولور الصديوم وخاصة فوق المجالات المحيطية أو من بلورات حامض نتريك . وهناك نوى تسييل أخرى تتمثل في جزيئات دقيقة من الغبار الجوي المعتدلة أو المكهربة ومن



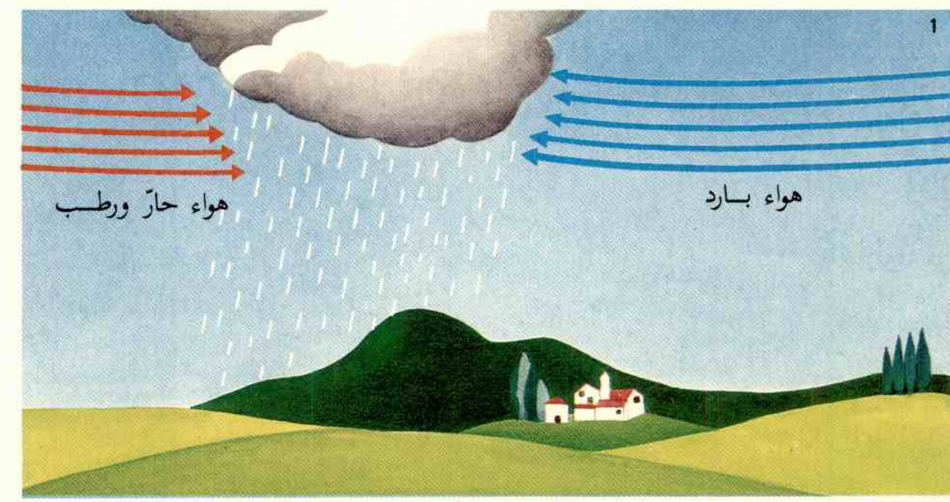
الصورة أعلاه : يتكوّن الثّلج عندما يلتقى المطر أثناء هطوله بطبقة تكون درجة حرارتها عند نقطة التجمّد .

الصورة جانبه : يتشكل النّدى في الصباح خلال فصلي الربيع والخريف وعند غروب الشّمس في الصيف . وحين يلتقي بحرارة منخفضة تكون عند نقطة تجمّد الماء ، ينشأ عنه الصّبر .

## لماذا يسقط المطر ؟

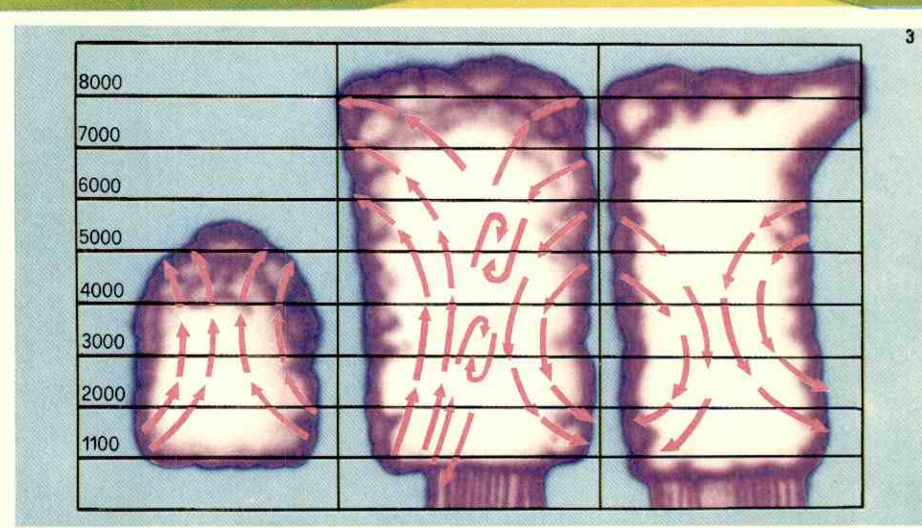
بسبب حركات تصاعدية . أما الثانية فتتطور أفقيا وتسببها تيارات تهب متوازنة مع سطح الأرض .

وبكيفية مفصلة ، يمكن التمييز بين عدة أشكال أخرى من السحب . فهناك الطخرور ( أو الطخاف ) وهو سحاب رقيق وليفي شبيه بالصوف لونه أبيض ، ويتكون من إبر ثلجية . أما السديم ( الرهج ) فهو نوع من الغيوم المنضدة على شكل طبقات تعلو الأفق وتمتد بموازاته أو










تشكل غلائل بيضاء متشاكلة ، وهي مكونة أساسا من إبر ثلجية . وهناك أيضًا القزع ( أو النغاص ) وهو نوع من السحب المنعزلة ذات الأشكال الغريبة . أما الدجنة ( أو المزنة ) فهي سحب ذات لون داكن وكتلة بلا شكل محدود ، وهي تحمل عادة الثلج والمطر . وحسب الارتفاع الذي تتكون فيه السحب ، يمكن التمييز كذلك بين عدة أصناف ، فهناك السحب السفلية التي تظهر على ارتفاع 2500 متر والسحب المتوسطة الموجودة على ارتفاع يتراوح ما بين 2500 و 4500 متر . وهذه الارتفاعات تعني المناطق المعتدلة لأن الحدود أكثر ارتفاعا في المناطق المدارية .

والسحب السفلية هي كل من القَرِد والدجنة والقزع والركام المزني والسدم . أما السحب المتوسطة فهي القزع الأعلى والسدم الأعلى . أما السحب العلوية فهي الطخرور والسمحاق الطبقي والسمحاق الركامي ( أو النمرة ) .

وأهم التساقطات الجوية مرهونة بالسحاب . ورغم تعقيد ظاهرتها يمكن تبسيط تكوُّن المطر بالقول بأنه ينتج عن تراكم القطيرات المكثّفة تدريجيا والتي يتضاعف وزنها وحجمها إلى أن تصبح ثقيلة وتقع تحت مفعول الجاذبية . والحقيقة أن سيرورة تكوُّن المطر تتم على النحو التالي : فالكتل الكبرى الركامية الشكل في الارتفاع الأقصى في الجو تتوفر على كميات كبيرة من قطيرات الماء المائعة تحت درجة الذوبان ( أي الحالة السائلة في درجة تقع تحت الصفر ) وكذلك من إبر الجليد ، وبالنظر إلى كون الماء الموجود في السحب حركتُهُ متواصلة، يحدث غالبا أن تتصل المائعة والابر الصغيرة فتتضاعف هذه الأخيرة بفعل التسامي . آنذاك تصبح الابر الصغيرة ثقيلة بما فيه الكفاية للتساقط ، وتلتقى أثناء سقطتها بقطرات ماء أخرى مائعة أو غير مائعة . وهي تتكاثر كذلك بفعل ظاهرة التكتل الناتجة عن اصطدامها بالقطرات المجمدة فورا . وإذا

يمكن للسحاب أن تتكون : 1) حين يبرد تيار هوائي حارّ ورطب عند التقائه بسلسلة جبلية ، 2) وحين يتمّ اللّقاء بين كتلتين هوائيتين تختلف حرارتهما . الرسم 3) يبين المراحل المتعاقبة الثلاث لتطوّر تراكم عاصفي : في المرحلة الأولى يصعد الهواء الحارّ ، وفي المرحلة الثالثة يهبط لأنه برد ، أما في المرحلة المتوسّطة المتميزة باضطراب شديد ، فتنشأ البردة التي تقع منطقة تشكّلها في الجو مابين خمس درجات مئوية تحت الصفر وعشرين درجة مئوية تحت الصفر .



ستار المطر كما يظهر من خلال خطوط التّساقط .

خريطَة مفصّلة لأحوال الطقس . ويظهر بها نظام الجبهات وخط المقسم بين هواء القطب البارد (بالأزرق) وهواء المناطق الاستوائية (بالبنفسجي) . وتتنقّل الاضطرابات الطّارئة على طول هذه الجبهة نحو الشّرق . وتوجد فوق أوروبا الشّمالية بقايا تدفّق هواء بارد قادم من الشّمال ، وسوف يطردها الهواء الحارّ القادم من الغرب . وفي التيّار الشّمالي الواقع فوق المحيط ، يدفأ الهواء تدريجيا ، مما يثير تساقط الثلج بين سبتزبيرغ واسكتلندا . وعلى مقربة من مراكز الضّغط الأدنى ، توجد مناطق مطرية شاسعة .

كانت حرارة الأرض تحت الصفر ، فإن الثلج يسقط وفي الحالة المعاكسة فإن المطر هو الذي يتساقط . والرداد نوع من المطر يقل قطر قطراته عن 5 ،0مم وبالمقابل فإلى غاية قطرات ذات قطر من 8مم فنحن إزاء مطر حقيقي .

وعندما يسقط الثلج ويخترق طبقة من الهواء الحار تتحول ندائفه إلى قطرات مائية ولكنه في آخر المطاف إذا التقت هذه القطرات بطبقة أخرى تكون حرارتها تحت الصفر ، فإنها تسقط على شكل ثلج ذائب مكون من حبات الجليد .

ويقاس المطر الذي يسقط في مكان ما بواسطة المغياث الذي يبين بالميلمتر كمية الماء المتساقطة . أما الثلوج فتقاس عادة بالمتر ويعتبر مجموع الأمتار السنوي .

ويتكون الوبل كذلك على إثر انضمام بلورات الجليد إلى قطرات الماء المجمدة التي تضاف إلى نواة الجليد في الطبقات المتراكزة التي قد يصل قطرها أحيانا ما بين سنتمتر وسنتمترين ، وفي بعض الحالات الاستثنائية ، قد تصل كتلها إلى حجم الجوزة . أما حبات البرد فتتكون في الطبقات الجوية التي تتراوح حرارتها ما بين خمس درجات مئوية تحت الصفر وعشرين درجة مئوية تحت الصفر .

**ماهو الفرق بين كل من المطر والثّلج والبردة ؟**

خ منطقة الضّغط المنخفض

اتجاه تنقل الانخفاضات القصوى

ر منطقة الضّغط المرتفع

1010 متساوي الضّغط ، الضّغط الجوّي بالمليبارات .

منطقة مطر

جبهة حارة

جبهة باردة

جبهة الانسداد

8 اتجاه تنقل الهواء مع الحرارة بدرجات سلسيوس

سقوط الثلج

سقوط المطر

ثلج

لماذا لا تسقط الأمطار بنفس الكيفية في جميع أقطار الأرض ؟

**توزيع الأمطار :**

يرتبط توزيع المناخات على الأرض بتوزيع الأمطار المرهون بدوره بالظروف الضغطية والحراريّة العامة . ولذلك فمن الأهميّة بمكان معرفة تغيّرات الأمطار خلال الفصول . ولهذا تمّ انشاء أنظمة للتساقطات مصنّفة كالتالي : النّظام المداري والنّظام الموسمي والنّظام المتوسّطي ونظام خطوط العرض المتوسطة والنّظام الجافّ :

**النّظام المداري :**

يثير مرور الشّمس فوق سَمْت مكانٍ تكوّن فصْل من فصول الأمطار . ذلك لأنّ أمطار المنطقة الاستوائية من النّوع السّمتيّ . فماذا يحدث في المدارات ؟ إنّها تتعرض لتشمّس قويّ ينتج عنه تسخين شديد لكتل الهواء التي تصبح أقلّ كثافة وتصعد إلى ارتفاع تبرد فيه مثيرة تكثّف وتسييل بخار الماء .

وعندما تكون الشّمس عند خطّ الاستواء في أعلى الأفق طوال السنة ، فإنّ المطر يسقط باستمرار مع دورتين متناسبتين مع السّمت الشّمسي .

وكلّما تم الصّعود نحو خطوط العرض العليا كلّما توقف تشاكل الأمطار لأنّ الشّمس عندما توجد عند سَمت مدار السّرطان لا تملك قوة تحديد التيّارات الصّاعدة في مدار الجدي ، والتي هي أساس غزارة الأمطار المدارية . وهكذا تتكوّن الفصول التي تختلف من حيث الظّروف الطّقسية .

ويمكن التمييز في الغالب مابين فصل رطب وفصل جافّ ، إلّا أنّ المناطق شبه الاستوائية تعرف التّعاقب بين فصلين غزيري الأمطار وفصلين قليلي الأمطار .

**النّظام الموسمي :**

هناك منطقة في آسيا يلقبها الجغرافيون بآسيا الموسمية . وهي منطقة تتلقّى تأثيرات الرياح الموسمية الشّهيرة التي تكتسي أهميّة بالغة بالنّسبة للمناخ . وهكذا يسود خلال ستة أشهر صيفية فصل رطب عندما تهبّ الرياح الموسمية من البحر في اتّجاه الأرض ، ثم يعقبه فصل جافّ يستغرق ستّة أشهر شتوية وذلك حين تهبّ الرياح الموسمية من الأرض في اتّجاه البحر . ولا تسقط الأمطار خلال فصل الشّتاء الا في الحواشي الشّمالية لهذه المنطقة ، وذلك بسبب وجود البحار الدّاخلية .

**النّظام المتوسّطي :**

يتميّز بتنقل الأعاصير المعاكسة المدارية ، التي تصل خلال الصيف لتخلق فصلا جافًا ثم تزول خلال فصل الشتاء محدثة انخفاضا ضغطيا مباغتاً يعقبة تكون الرّطوبة وتساقط الأمطار .

إلّا أنّ وصول الأعاصير المعاكسة ليس متشاكلا لأنّها تستقر في البداية في الشّرق ثم في المناطق الغربية بعد ذلك ، متبعة نفس الترتيب حسب انتقالها في اتّجاه أميركا . ويدلّ ذلك على أنّ المناطق الغربية تتوفّر على فصل شديد الجفاف يكون قصيرا بالنسبة لما هو عليه في المناطق الشّرقية .

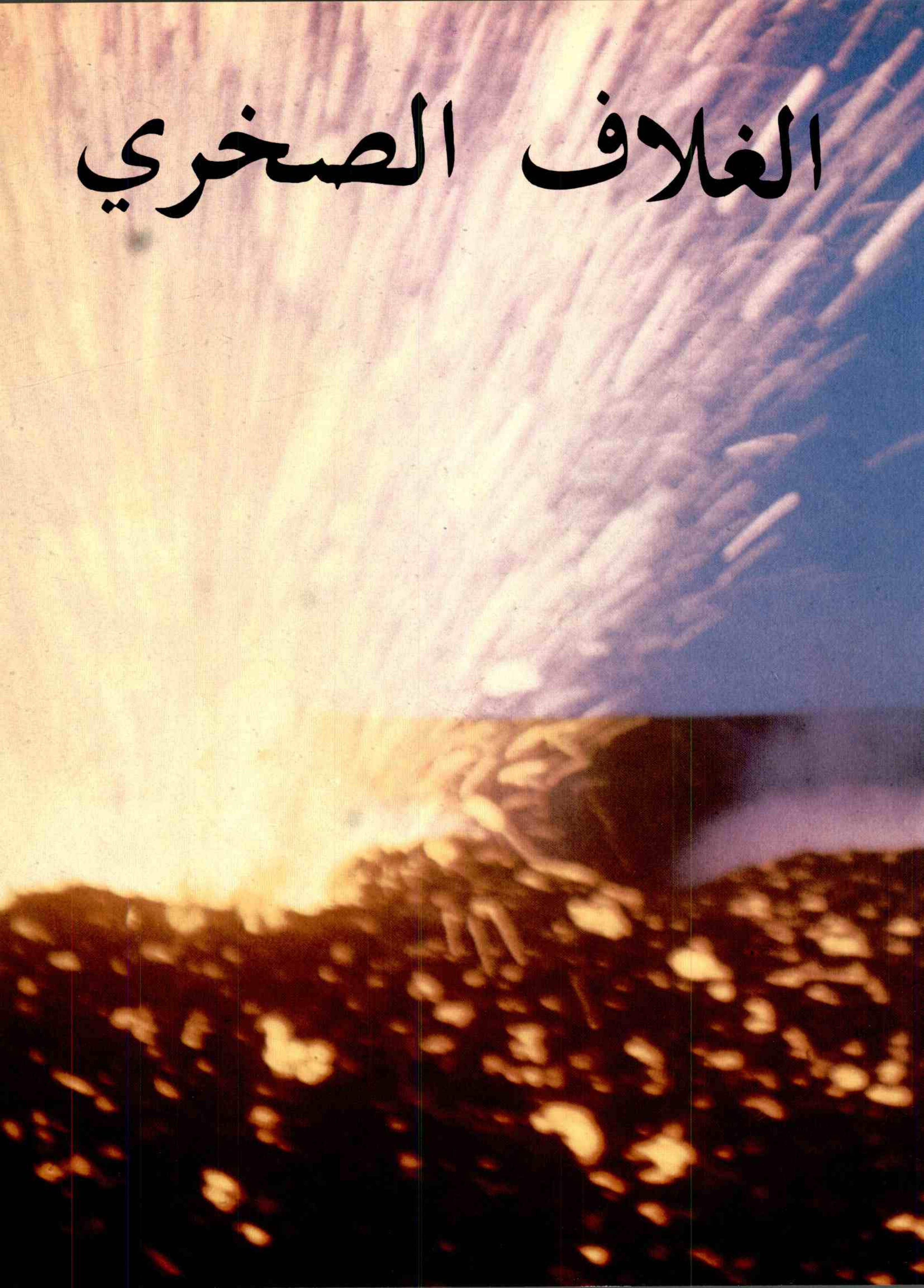
**نظام خطوط العرض المتوسّطة :**

يتحدّد مناخ خطوط العرض المتوسّطة بتأثير الرياح الغربية التي تكون في الغالب حارّة ورطبة ، وحاملة للأمطار . ويتمّ اللّقاء مابين هذه الرياح ورياح الشّمال الشّرقي الباردة والجافّة في مناطق الالتقاء الواقعة تحت القطب الشمالي ، والتي بارتباطها تتكون الأعاصير المتحركة من الغرب إلى الشّرق فهي تأتي بتساقطات حسب توزيع البحار والأراضي الطّافية . وهكذا يتميّز الطّرف الغربي من القارّات بتساقطات غزيرة تصل الى 1200 مم سنويا ، بينما في الطرف الشّرقي المعرض للرياح ، تكون التّساقطات ضعيفة لا تتعدى 800 مم سنويا .

وفيما يتعلّق بكثافة الأمطار ، يمكن التّمييز بين كلّ من النّظام المحيطي ذي الأمطار المتواصلة والنّظام القاري ذي الأمطار الصّيفية والنّظام الانتقالي المتميّز بنوع من التعاقب .

**النّظام الجافّ :**

من النّاحية النظرية المحضة ، لا يمكن الحديث عن نظام مطري في المناطق الجافّة ، كالصّحاري والمناطق القطبية ، لأن الأمطار تكون بها غير منتظمة ومرهونة بأسباب الجفاف . والمناطق القطبية التي تشهد باستمرار أعاصير معاكسة ، لا تتوفّر على تساقطات مهمّة ، وهذه الأخيرة لا تتكاثف إلا في فصل الصّيف .


الغلاف الصخري

## ممّاذا تتكوّن قشرة الأرض ؟

إن الحياة الانسانية تزدهر في الطبقة السفلية لكرة قشرية محاطة جزئيا بسُمك دقيق من الماء .ويظهر سطح الكرة لأول وهلة جبليا ، ولكنه في الحقيقة أملس إذا اعتبرنا الكرة في مجموعها ، لأن العناصر المفارقة مع هذا التسطح كالسّلاسل الجبلية أو الحفر المحيطية جد ضئيلة ولا تصل إلى الحجم العادي .

وكما رأينا سابقا ، في الجزء الأول من هذه الموسوعة ، فإن الخاصية الأساسية للكرة الأرضية كونها محاطة كليًّا بقشرة صلبة تنغرز في أعماق المحيطات ولا تظهر إلا عند الأراضي الطافية . وقشرة الأرض هي القشرة التي يقدّر سمكها بما بين 40 و 60 كلم . والقشرة في جزئها الخارجي مقسمة نسبيا تحت المحيطات وتتكون من صخور خفيفة ويتميز جزؤها الخارجي ببعض التغيرات من حيث التشكل ، وقد تكون في الأصل من طبيعة بلّورية . إلا أن عدة عوامل تخريبية كالتلف والحت والاجتراف قد حولتها مع مرور الزمن إلى سلسلة من الحتات تجمّعت في المناطق المنخفضة وتحولت إلى رواسب تحت الماء حيث التحمت لتكوّن طبقة صخرية سميكة تُعرف بالصخور الرسوبية . وبالنظر إلى حركية الهضاب السطحية الدائمة فإن هذه الصخور الرسوبية قد تعرضت لمراحل متعاقبة من التحطيم وإعادة الانشاء وأحيانا تتخذ أشكالا أخرى . وسنتعرض فيما بعد لمختلف حركات الكتل القشرية بعد إتمام وصف القشرة الأرضية وخصائصها . فعندما تبتعد هضبتان في القشرة الأرضية عن بعضهما ، تتدخل صخرة جديدة تكون غالباً على حالتها السائلة لتبرز بينهما فيفسح المجال لتشكلات جبلية مثل ما هو الشأن بالنسبة لخط القمة الأطلسي حيث تنفصل الهضاب المدعمة لأعماق المحيط ، وهاتان الهضبتان تنزلق إحداهما فوق الأخرى فتثيران الظواهر الزلزالية.وإذا انضغطت هضبة فوق أخرى تكون موجودة بمقربة من إحدى القارات لينتهي بها المطاف إلى التخريب في أعماق الأرض ، فإن الجبال ترتفع وتنثني . ومثل هذه الظاهرة تُحدث زلازل وتثير نشاط البراكين عند جنبات الهضبة القارية الخارجية .

وهذه الآليات تستغرق ملايين السنين وهي غير ملحوظة على مستوى حياة الانسان باستثناء الزلازل ونشاط البراكين . وقد مكنت هذه الظواهر من تنويع المناظر الطبيعية على الكرة الأرضية . فهناك سهول نتجت عن ظواهر رسوبية حديثة ، وهناك أراض طفحية أو أراض صوانية يرجع عهدها إلى ملايين السنين والتي كشف عنها التآكل المستمر . كما أن هناك أيضا مناطق ذات صخور متغيرة بفعل حرارة وانضغاط القشرة خلال ملايين السنين بعد تشكلها الحقيقي . ومن البديهي أن الأراضي التي يعيش عليها الانسان تختلف من حيث أصلها وبنيتها ووظيفتها .

**الدورة الصخرية :**

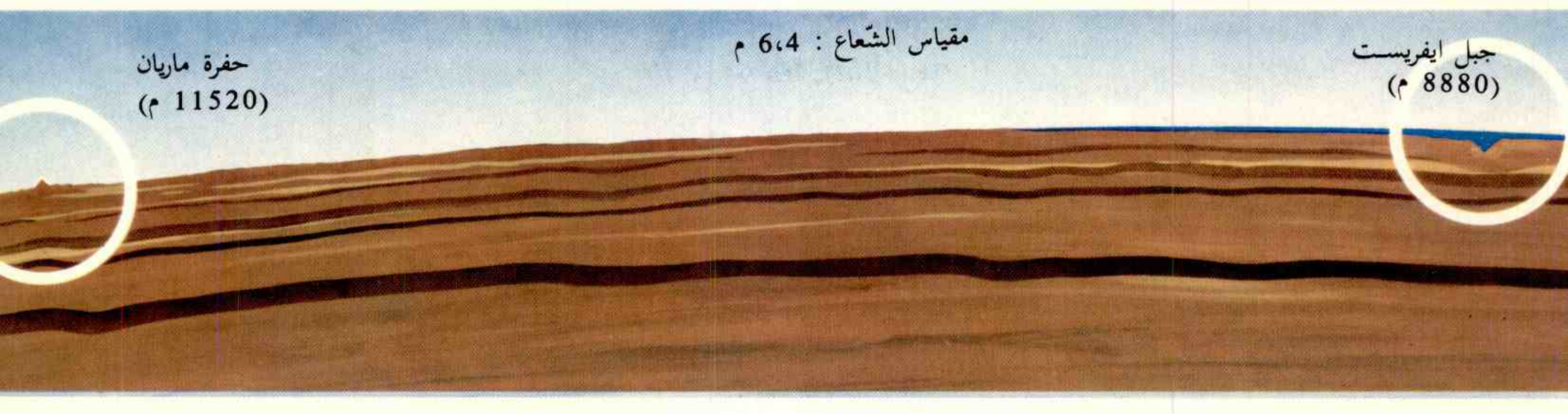
إن الصخور عبارة عن كتل جيولوجية مستقلة تشكل القشرة الأرضية ، وهي مصنفة إلى صخور بركانية وصخور رسوبية وصخور متحولة ، وذلك حسب مصدرها وتكوّنها .

والدورة الصخرية هي العلاقة الموجودة بين هذه الأصناف الصخرية الثلاثة ، وهي تبتدىء عند سطح الأرض . وتشمل المرحلة الأولى منها حتّ وتشويه أقدم الصخور بفعل العوامل الجوية . وإوالية الحت هذه تسبب في تكوّن الحتات والرمال التي تنقلها المياه الجارية إلى قعر البحر حيث تترسّب وتتكدّس مكوّنة طبقات ذات سمك هائل . وقد قُدّرت كميات المواد الحتاتية التي أفرغها نهر الميسيسيبي في خليج المكسيك خلال المائة والخمسين مليون سنة الأخيرة بحوالي خمسمائة مليون طن سنويا ، وصل سمكها الحالي إلى 12.000 متر .

وعندما يجري الماء سطحيا فوق الرمال فهو يترك رسوباً



إن الأراضي التي نعيش بها ذات أصول مختلفة ، قد تكون حديثة أو قديمة التشكّل . وسطح الأرض معرّض باستمرار إلى عمليات مباشرة ومتفاوتة العنف قد تغيّر من شكله ومظهره . في الصورة نموذج لأرض طفحية .

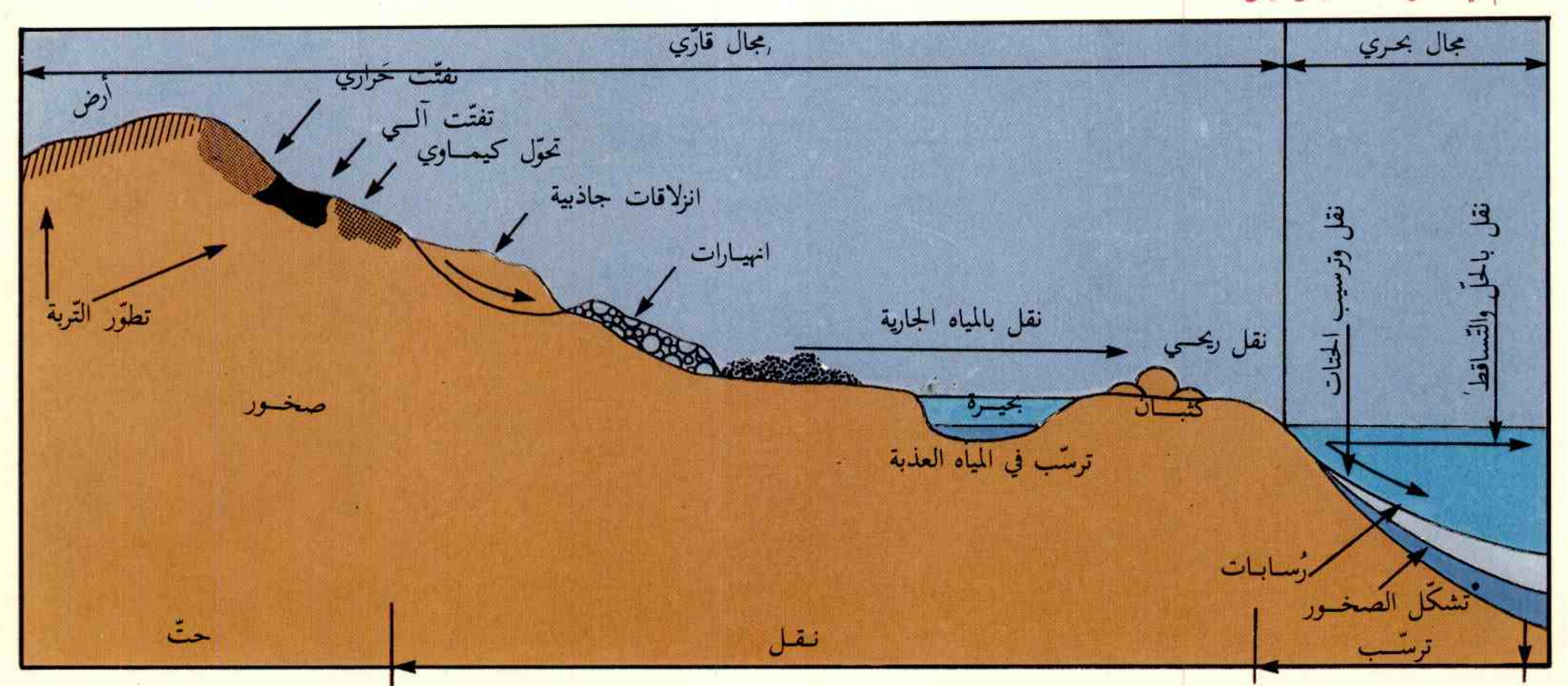



من أكسيد الحديد والسّيليس والكاربونات والكلسيوم ، التي ترسخ حبّاتها محولة الرمال إلى حت وهو نوع من الصخر الرسوبي . وبعد ذلك ينضغط الوحل بفعل الرسوبات المتعاقبة ويتخلص من المياه التي يحتوي عليها ثم يتحول إلى طين متصلب . وتعرف هذه السيرورة بالتحجّر . وتوجد أكبر تركزات الصخور الرسوبية في الانخفاضات العظمى التي هي عبارة عن منخفضات طويلة وضيقة في أعماق البحار . ويرجع أصل هذه الانخفاضات العظمى إلى الظواهر المعروفة بتيارات التحدّب المنحدرة التي تميل خلال ملايين السنين إلى دفع القشرة الأرضية نحو الداخل حيث يتضاعف الضغط وترتفع الحرارة ، والصخور الرسوبية تتبع القشرة وتنحدر نحو الداخل حيث تتلقى حرارة تتراوح ما بين 200 و 500 درجة ، تجعلها تنثني ثم تنضغط وتُسخّن ، ويعرف هذا التحول بالسيرورة التحولية . وقد يصل انغراز الصخور أحيانا إلى 700 كلم من العمق تحت السطح . وفي هذا المستوى تتمكن الحرارة والضغط من تذويب الصخور نفسها مما يخفف من وزنها فتتصاعد تدريجيا عبر مختلف الطبقات . وإذا حملت هذه الحركة صخرة على حالتها السائلة إلى السطح فإن هذه الصخرة تتعرض من جديد إلى التشوّه تحت تأثير عوامل التحول وبالتالي إلى دخولها في دورة تحويلية جديدة . إلا أنه غالبا ما تتصلب الصخرة المذابة تحت السطح . وعليه لابد من أن يزيل الحتُّ كل الطبقات الموضوعة فوق الصخرة المتصلبة لكي تدخل هذه الأخيرة في دورة جديدة . وفي البداية فإن

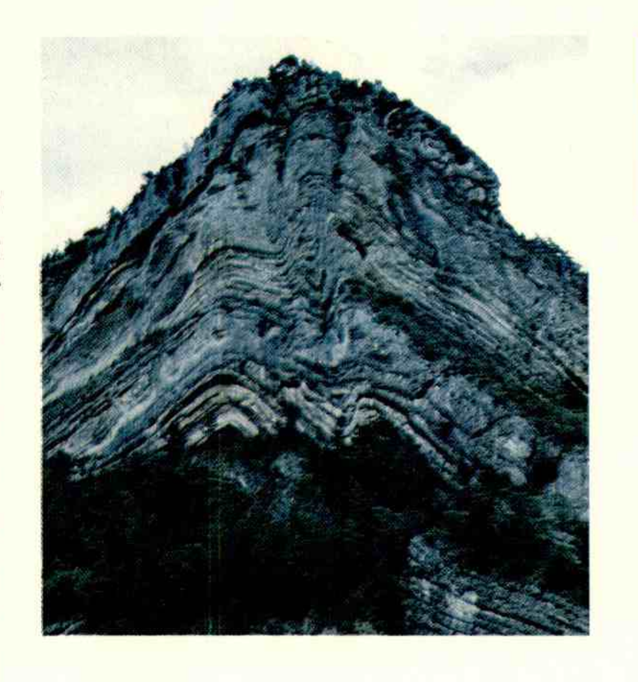
كيف تتمّ الدّورة الصّخرية ؟

الرسم أعلاه : لو فكرنا في واقع كلّ الجبال ولجج المحيطات لاعتقدنا بسهولة أنّ القشرة الأرضية قد تتبعت خطّا جبليا وعرا . والحقيقة أنّ معاينة الأفق توحي بالوضعية الممثّلة في الرسم : فجبل ايفريست وحفرة ماريان ليسا سوى مظهرين شاذين للخطّ المذكور .

الرسم أسفله : دورة الحتّ التي تدخل فيها عوامل متعدّدة تساهم في تسوية التّضاريس وملء المحيطات .



لماذا تذوب الصّخور الهابطة إلى الأسفل ؟

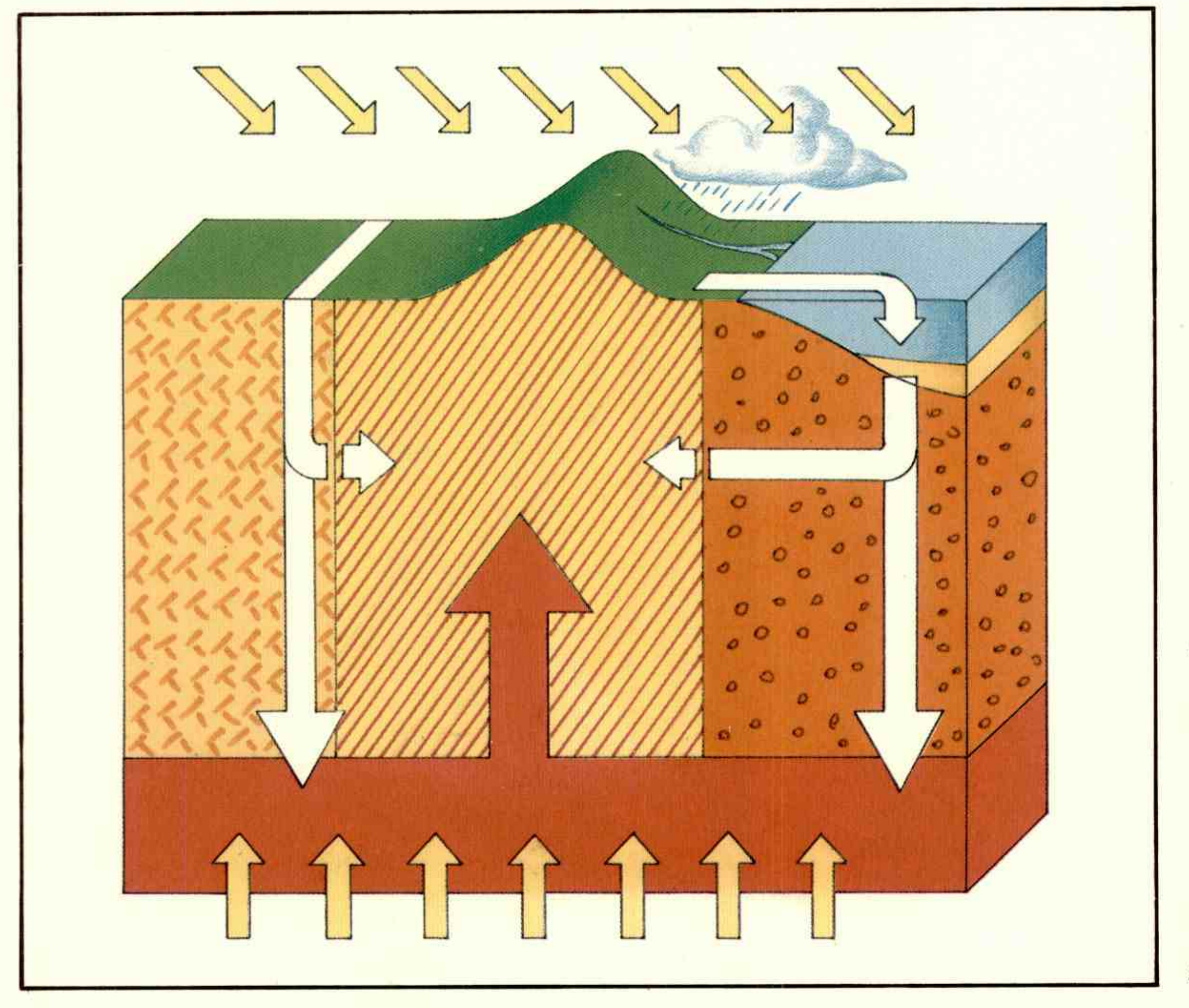


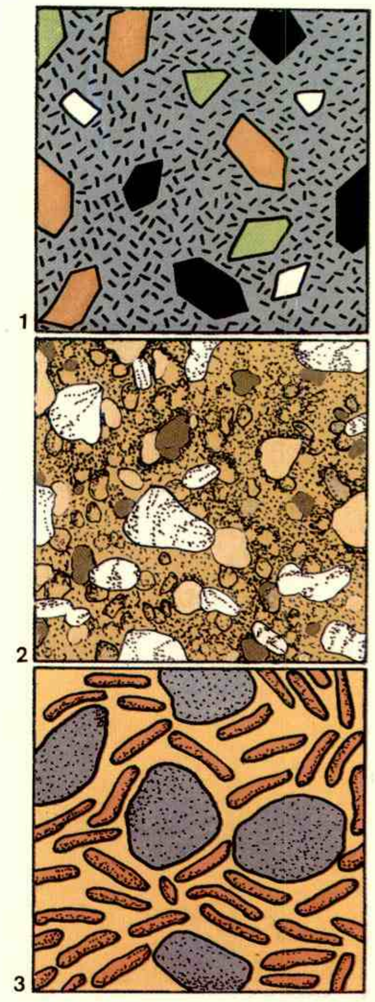
المادة كلها تظهر على حالتها السائلة وبذلك فإن المرحلة الأولى من الدورة تهم الصخور البركانية ، إلا أنه اليوم لم يتبقّ شيء من الصخور الأولية ، ولذلك فإن الدورة تعني تحول الصخور الرسوبية إلى صخور تحولية ثم بركانية ، رغم ما يحدث عادة من شذوذ في التسلسل بالاضافة إلى انعدام بعض المراحل .

إن دراسة تعاريج التّربة تبيّن بوضوح سيرورة تنضيد الطّبقات العتيقة ونمط وضعها حسب طبيعة التّرب المختلفة .

في الرسم أسفله : يبيّن السّهم الأبيض ، يسارا ، الحتّ الذي تعرّض له السطح تحت تأثير العوامل المناخية . ويشير السهم الأبيض ، يمينا ، إلى عمليات المياه الجارية التي تودع الحتات في قعر البحر . وتنشأ عن هذه الترسّبات صخور رسوبية تصبح خلال الدّورة الصّخرية تحولية عند اتّصالها بالصّهارة وتحت تأثير الضّغط والحرارة ثم بعد ذلك تصير صخورا بركانية حين تقوم الحركات الباطنية بدفع الصّهارة إلى أعلى حيث تبرد حسب طرق مختلفة .

الرّسم الجانبي : (1) صخور بركانية مادّتها من قشرة الأرض ذات بلّورات متطوّرة ، (2) صخور رسوبية ذات أجزاء عتيقة ، (3) صخور تحوّلية تبيّن القوى التي تمخّضت عنها .





# القشرة الأرضية : الصخور .

ماهي أصناف الصّخـور ؟

إن القشرة الأرضية هي مجموعة الكتل الجيولوجية المستقلة الناتجة عن تجمع عدة أنواع من المواد المعدنية، أو بعبارة أوضح فالقشرة الأرضية هي مجموعة من الصخور .

وتُصنف الصخور إلى بسيطة ومركّبة ، فالصخور البسيطة مكونة من معدن واحد مثل الرخام المكون من كاربونات الكلسيوم أو من ملح الفص المكون من كلورور الصديوم . أما الصخور المركبة فتتكون من عدة معادن ومنها الغرانيت أو الصوان ، أو بصفة عامة فالاختلاف بين المعادن والصخور يكمن في أن المعادن يمكن التعبير عنها بواسطة قاعدة كيماوية بينما الصخور وخاصة منها المركبة لا تتوفر على صيغة كيميائية لأنها غاية في التعقيد عند تحديدها . وعليه ، فالصخور عبارة عن كتل جسيمة جدا ، وحتى الصخور البسيطة التي لا تتكون من معدن واحد فهي تختلف عن هذا المعدن لكونها أقل صفاء. أما الاختلاف الأخير فهو فيزيائي ويهم الوزن النوعي ودرجة حرارة الذوبان ، وهما خاصيتان تكتسيان أهمية كبرى بالنسبة للصخور ، بينما يتوفر كل معدن على وزن نوعي ودرجة حرارة ذوبان قارّين .

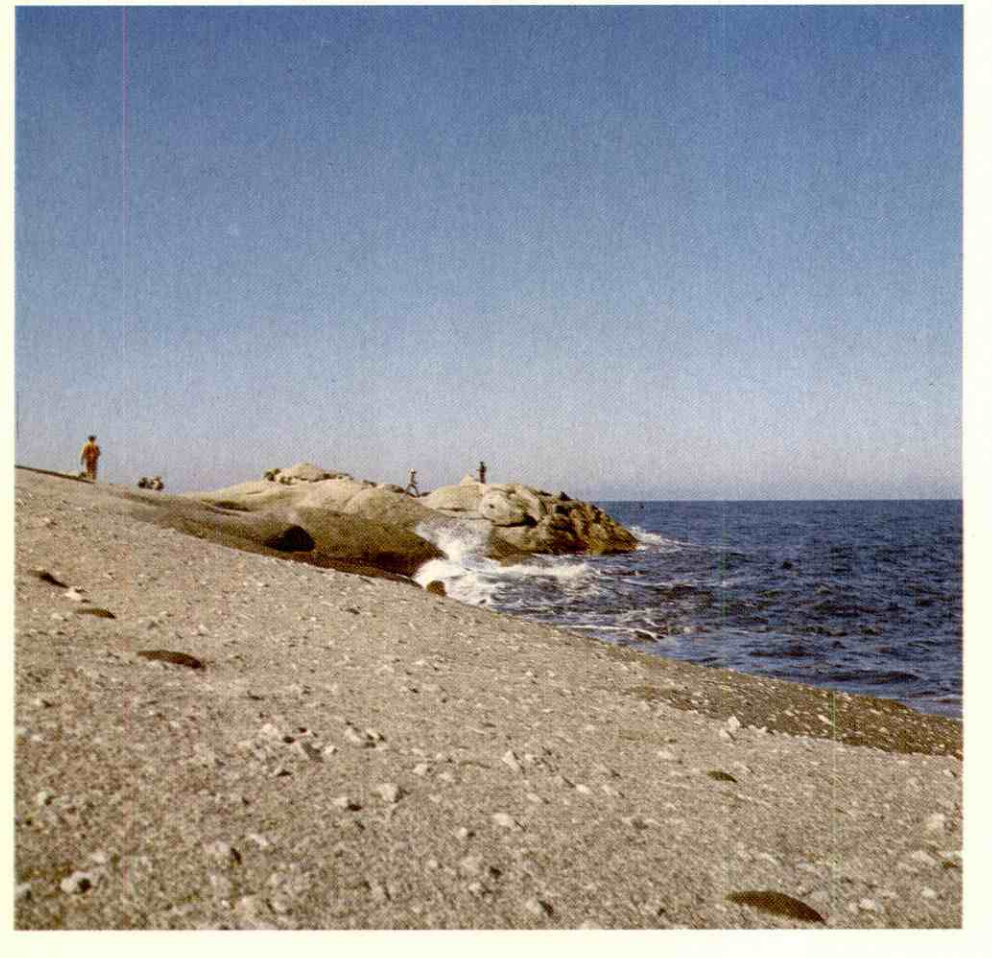
وتتحدّدُ بنية الصخور من خلال شكل وأحجام العناصر المعدنية وطريقة تكتلها بينما يتحدد تركيب أجزائها بوضع تلك العناصر ذاتها في الفضاء . وعليه ، يمكن تصنيف الصخور حسب بنيتها إلى صخور بلورية وصخور شبزجاجية ( أو لا متبلورة ) وصخور رضيخية .

وتتكون الصخور البلورية من المعادن المبلرة التي يمكن تمييزها بالعين المجردة حين تكون بنيتها بارزة التبلر كما تستحيل رؤيتها حين تكون بنيتها لا متبلرة . وحين تكون غاية في الدقة فإن بنيتها دقيقة التبلر.

أما الصخور الشبزجاجية اللامتبلرة فهي التي تكون مكوناتها منصهرة بعضها في بعض بفعل الحرارة حيث أصبحت لها كتلة شبيهة بالزجاج ونذكر من بينها السبج وهو حجر زجاجي أسود .

والصخور رضيخية البنية حين تكون متكـونة من أجزاء صخور أخرى متفاوتة الأحجام ، قد تكون متلاحمة أو غير متلاحمة بعضها مع بعض ، ومنها الخث أو الحجر الرملي .

وتُصنّف الصخور من حيث تركيب أجزائها إلى صخور متماسكة وصخور نضيدية . فالصخور المتماسكة متلاحمة وكثيفة وتتكون من معادن بلورية خفية لا ترى بالعين المجردة . أما الصخور النضيدية فتظهر منفصلة إلى طبقات بالامكان فصلها بسهولة ، ومنها الأردواز .



الصّورة جانبه تبيّن مثالا نموذجيا للصّخور البلّورية ، ويتعلّق الأمر هنا بفلدسبات ضخمة على الشّاطىء وتنقسم الصّخور البلّورية ، حسب بنيتها ، إلى صخور ظاهرة التّبلور (بلّوراتها بادية للعين المجّردة) وصخور خفية التبلور ( لا ترى بلوراتها بالعين المجردة) ثم صخور دقيقة التّبلور (ذات بلورات مجهرية) .

ماهي النماذج الصّخرية الأساسية الثّلاثة ؟

ويعتمد بعض الجيولوجيين كذلك على التركيب الكيميائي لتصنيف الصخور إلى حروقة مثل الخث والليْنيت وإلى مائية كالمجلدات ، وإلى حديدية كالمغنطيس وإلى شبيهة بالملح الهلوجيني التي تنقسم إلى كلورور كالملح الكريم ، وإلى كاربونات كالصلصال وإلى سلفات كالجص ، ثم إلى صخور سيليسية كالحث وصخور صوانية تنقسم بدورها إلى عدة أنواع ، منها الغرانيت والصلصال الصيني وحجر السماق والغنس .

ويعتمد التصنيف المتداول حاليا في عالم الجيولوجيا على تكوّن الصخور ومكوّناتها حيث يتم التمييز بين ثلاثة أصناف أساسية :

1 ــ الصخور البركانية أو الثّفليّة وهي من أصل جوفي وتعتبر مادتها من أعماق قشرة الأرض ، أو داخلية المنشإ .

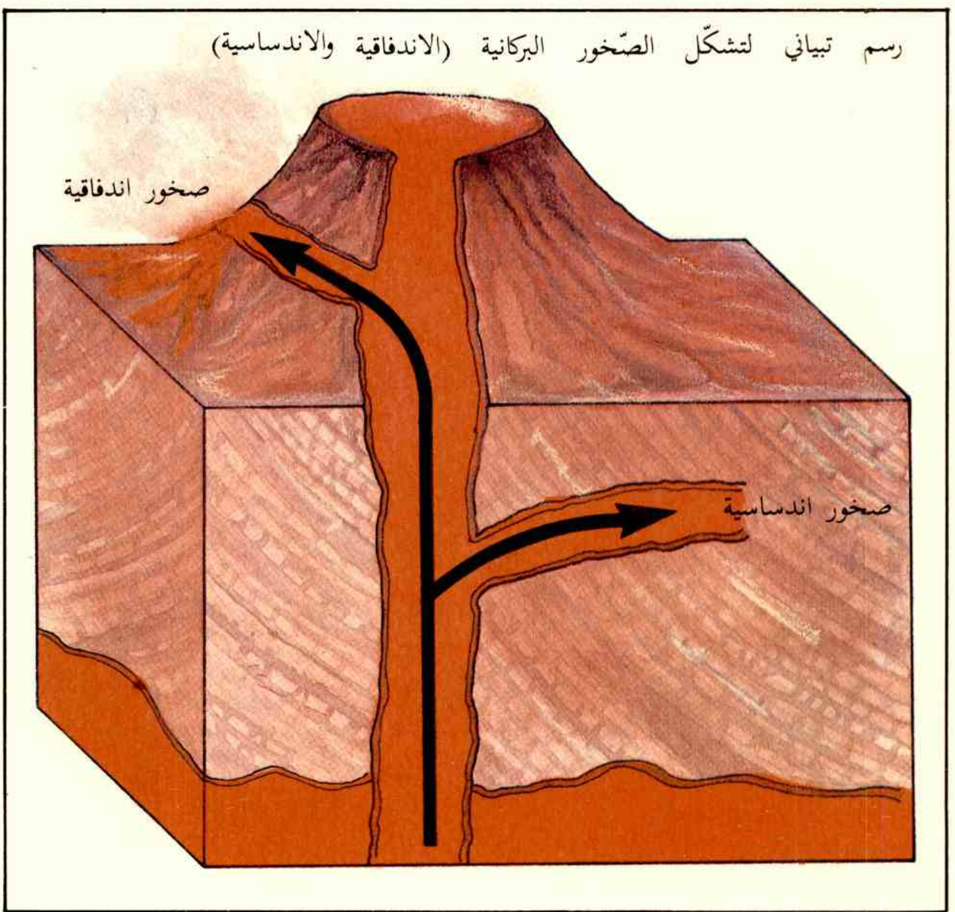
2 ــ الصخور الرسوبية : وهي من أصل خارجي وتعتبر موادها خارجية المنشإ .

3 ــ الصخور المتحوّلة : وهي صادرة عن تحول صخور من الصنفين السابقين على إثر عمليات كيماوية أو فيزيائية تتعرض لها القشرة الأرضية .

**الصخور البركانية :**

يشكل هذا النوع من الصخور حوالي 95 % من الكتل الحجرية رغم أن الصخور الرسوبية تظهر بكثرة على السطح . وهذا راجع بدون شك إلى بنية الأرض الأصلية التي كانت حسب تقرير علماء كثيرين في حالة سائلة. والصخور الحالية قد تكون نتاج تحول هذه الكتلة البدائية السائلة تحت تأثير الترسب أو عوامل أخرى فيزيائية أو كيميائيّة . وعليه فأصل الصخور البركانية هو الثفل وهو الكتلة السائلة التي بردت فيما بعد وتطلق غازاتها . ويتكون الثفل من السيليكات ، وهو غني بالغازات مثل بخار الماء وانهدريد الكبريت وغيرهما والتي تقوم بدور التعدين حيث تسهّل تبلّر المركبات الكيماويّة .

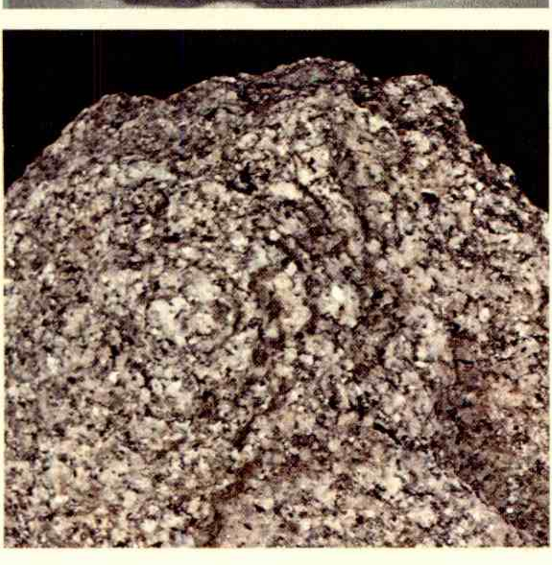
وقد رأينا سابقا أن المادة تنتقل من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ، ويرتكز الاختلاف القائم بين مختلف الصخور الثفليّة على نقطة من القشرة الأرضية التي يتمّ فيها



رسم تبياني لتشكّل الصّخور البركانية (الاندفاقية والاندساسية)

إن الحُمم الذي يعود إلى السّطح قد يبرد ببطء وفي العمق ، فتنشأ عنه صخور لا انصهارية ذات بلورات غليظة كما هو الشأن بالنسبة للغرانيت (الصورة 2) . وقد يصل الحمم إلى السّطح حيث يفيض وتنشأ عنه صخور انصهارية ذات بلّورات صغيرة لا تظهر إلا تحت المجهر . إلّا أنه بعد التصلّب السطحيّ ، تبقى الذرات المكوّنة للمادّة الصخرية محافظة على وضعها الذي كانت عليه اثناء السيولة ، آنذاك تنشأ صخور متميزة تعرف باللامتبلّرة ومنها الزجاج والسبيج (الصورة 2) .





التصلب . فإذا وصل الثفل إلى السطح واخترقه نجد صخورا ثفلية انسكابية تتصلب عن طريق اتحاد بلورات مجهرية . إلا أنه بعد التصلب تحتفظ الذرات المكونة للمادة بنفس الوضع الذي كانت عليه الصخرة في حالتها السائلة محدثة بذلك صخوراً خاصة تعرف بالصخور اللاّمتبلرة مثل الزجاج والسّبج وهما متصلّبان من حيث شكلهما وكثافتهما .

وإذا تعرض الثفل عند ارتفاعه نحو السطح إلى حصر من الأعماق فإن التبريد لا يتم بسرعة ولكن بكيفية تدريجية ، مما يمكّنه من تبلّر متكامل مضاعفا حجم بلّوراته . والصخور البركانية التي تكونت على هذا النحو تُعرف بالصخور الاسترسابية . ومن ناحية تكوين أجزائها تنقسم الصخور الداخلية النمو إلى صخور ذات تركيب دقيق التحبُّب إذا كانت كتلتها وألوانها متشاكلة، وإلى صخور ذات تركيب محبب إذا كانت البلورات التي تكوّنها واضحة ومتميزة ، ثم إلى صخور ذات تركيب سماقي إذا توفرت الكتلة الصخرية المتشابكة على بلورات ظاهرة . ويمثل الحمم البركاني نموذجا للصخور الانسكابية ذات التركيب الدقيق المحبّب ، بينما تمثل الصخور النرجفية مثالا للصخور البركانية ذات التركيب المحبب المكون في الأعماق .

والصخور الانسكابية التي تصل إلى السطح هي نتاج التبريد واستخراج الغازات من الثفل الغني بالمواد المتبخّرة ، وهي ذات بنية جوفية ، ومنها مثلًا الحجر الكذّان .

## الصخور الرسوبية :

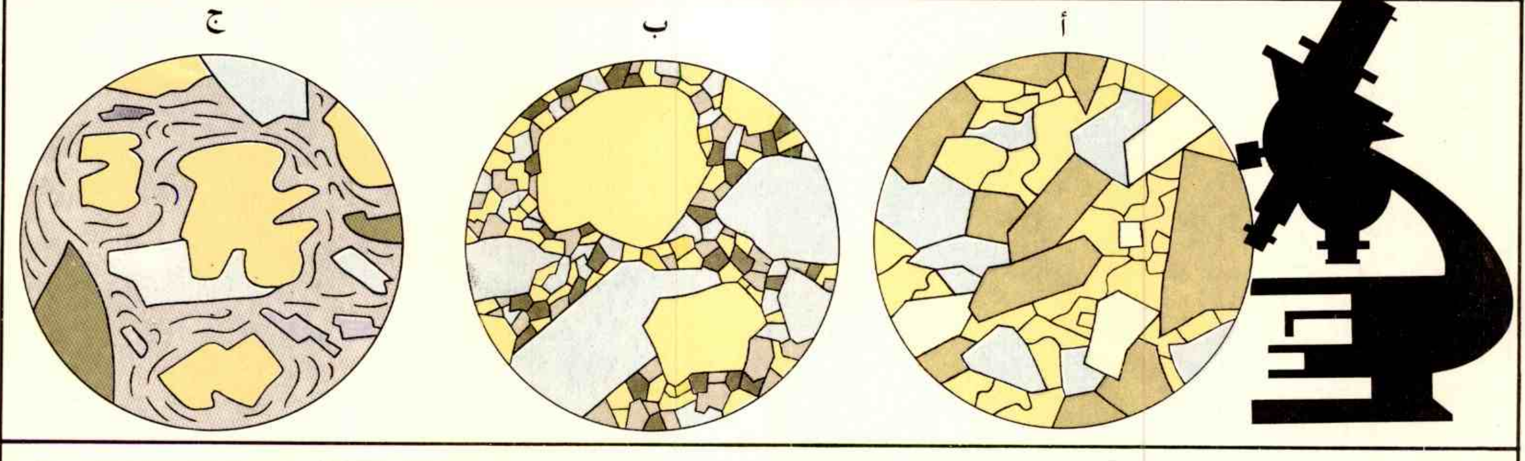
إن الصخور الرسوبية من أصل خارجي ولذلك تعرف بالصخور الخارجية المنشإ . وقد نشأت بفعل المواد المودعة في أعماق البحار والبحيرات أو المواد المودعة على السطح والصادرة عن التفتت الكيميائيّ والآلي لصخور أخرى ، أو المواد التي تنقلها المياه والرياح ، أو المواد الصادرة عن تكتّل العناصر المتبقية من أجسام الحيوانات والنباتات . ومعلوم أن

**لماذا تسمى بعض الصّخور بالرّسوبية ؟**

ا : بنية مُحبّبة ، بردت الصّخور البلورية ببطء وفي العمق ، ولذلك بقيت بلّوراتها كبيرة وتظهر للعين المجردة .

ب : بنية دقيقة التحبّب يتم التّبلور على مرحلتين : عندما تكون الصّهارة شديدة الحرارة تكوّنت بلوّرات دقيقة ، وتبقى الصّخرة دون أن تصل إلى السطح .

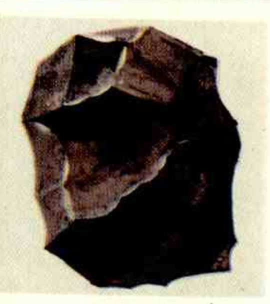
ج : بنية بلّورية ؛ تبدأ الصّهارة في التّصاعد ثم تبرد ببطء : آنذاك تظهر بلّورات غليظة ثم يصعد الحمم بسرعة فتؤدي برودته المباغتة إلى تشكّل زجاج يحتضن بلّورات الفيلدسبات الموجّه المعروفة بالبلّيرات أو الميكروليتات .



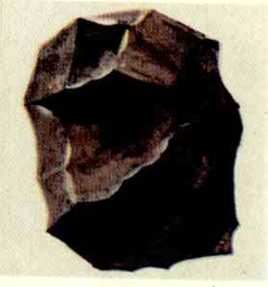



1 و 2 : صوان أحمر وسيينيت ، وهما نموذجان للبنية المحبّبة .

3 : حجر سُمّاق بنفسجي (بنية سُمّاقيّة)



4 : حجز البزلت ، ذو بنية دقيقة التحبّب



5 : خفّان ، ذو بنية فجوبة ، تتكوّن تحت تأثير تبريد الصّهارة وتخليطها للغازات .

## ماهي أصناف الصّخور الرّسوبيـة ؟

الايداع والنقل والتكتل كلها ظواهر كثيرة البطء . ولذلك فإن بنية الصخور الرسوبية تظهر على شكلها المنضّد . ومن خلال أصلها فقد صُنّفت الصخور الخارجية المنشإ إلى ثلاث مجموعات ، فهناك الصخور ذات أصل كيمائي ، وصخور من أصل عضوي ثم صخور من أصل رضيخي .

### أ ــ الصخور الكيماويّة الأصل :

تكونت هذه الصخور بفعل التبخر وانفصال الأملاح المعدنية عن المياه التي كانت محللة فيها، أو بفعل عوامل أخرى وهي ممثلة أساسا في كل من الملح الكريم والترافرتين والجبس وةالدلمُت وفيلسات الصلصال والدفاق وعين الهر.

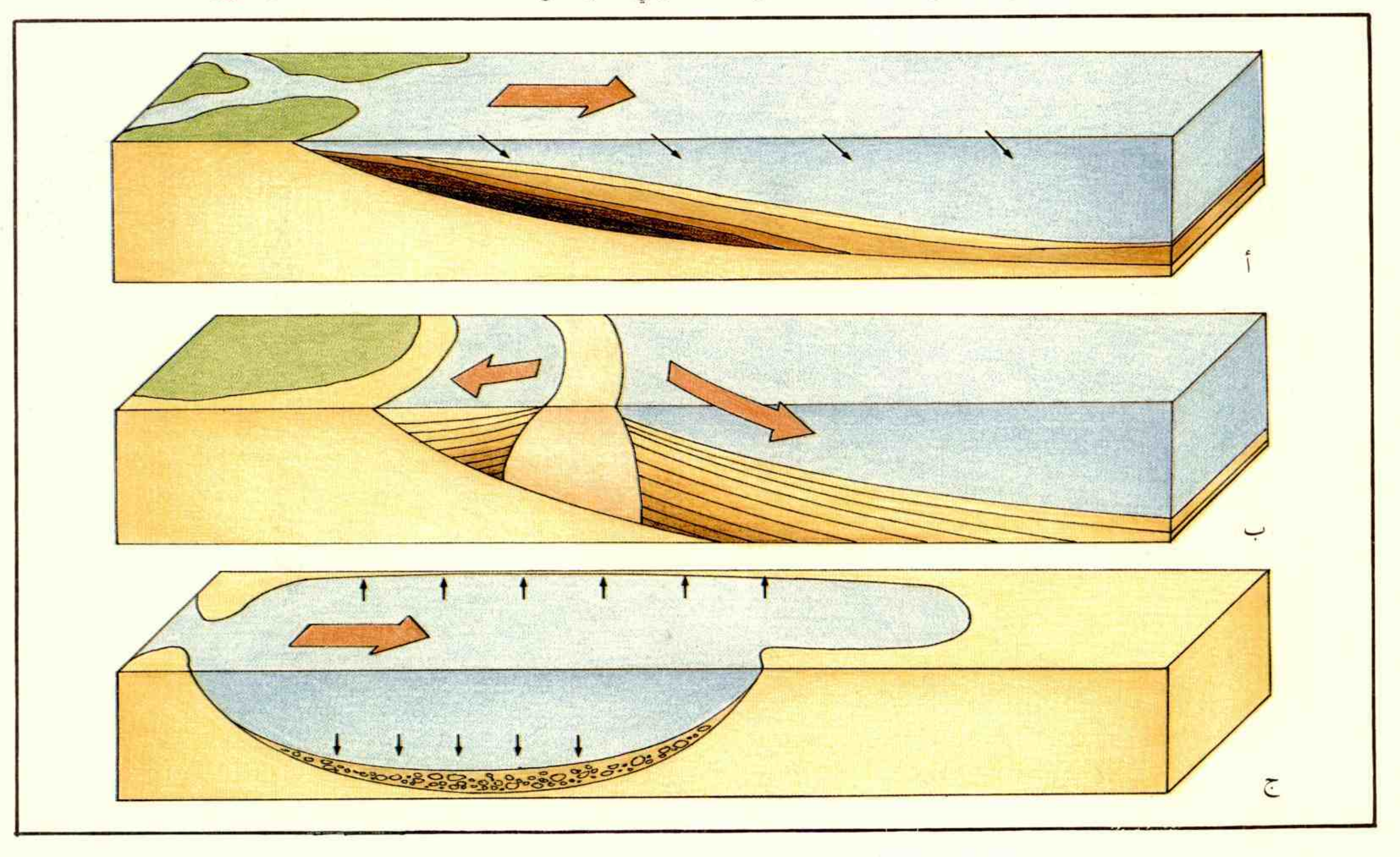
### ب ــ الصخور العضوية التكوين :

وهي مكونة من تراكم بقايا الأجسام الحيوانية والنباتية . ومن هذه الصخور ، الصخور الفوسفاطية مثل الأبانيت والفوسفوريت والركام العظميّ ، ثم الفحم المتحجر مثل الخُثّ والليينيت والأنترسيت ، وكذلك الصلاصل الحيوانية الأصل والنباتية الأصل . ونذكر من بين أنواع الصلصال طباشير الجراف وهو صاف وأبيض ومتماسك. وقد تكوّن من بقايا بعض الأجسام الخاصة التي تلصق الكلسيوم مثل المرجان والطحالب وصفيحيات الخياشيم ومعاديات الأرجل وغيرها . وهناك أيضا الصلاصل المصدّفة وهي مكونة من ركامات القوقعات والرخويات وغيرها من الأجسام المتجمعة بواسطة المواد الصلصالية والرمال . وأخيرا هناك الصلاصل المحيطية وهي نتاج بقايا الأجسام البحرية المتوفرة على قوقعات صلصالية . وهذه البقايا تشكل حمأ صلصاليا يصبح على إثر تحولات معقدة صلصالا محيطيا في أعماق البحار .

---

تنقسم الصخور الرّسوبية إلى رضيخيّة (أ) وعضوية المنشأ (ب) وكيماوية (ج) . وتنشأ الصّخور الرضيخية عن تفتّت الصخور العتيقة .

الرسم (أ) يبيّن كيف ينقل الماء الحتات الصّادر عن الصخور الأرضية (السّهم الأحمر الكبير) ، وكيف يودع الحتات في قاع البحر حيث ستتصلّب الطبقات السّفلية (السّهام الصغيرة السوداء) . وتتكوّن الصخور العضوية من انحلال الموادّ العضوية ، أي من تراكم بقايا الأجسام الحيوانية والنّباتية المتفسّخة في قعر البحر . ويمثّل السّهم البرتقالي في يسار الرسم (ب) تكون حاجز مرجاني . أما الصخور الكيماويّة فتنشأ عن تساقطات الأملاح (السّهام الصغيرة السّوداء المتّجهة نحو أسفل) وذلك بفعل التبخّر (السهام الصغيرة السّوداء المتّجهة الى أعلى) .



ونذكر من بين الصلاصل العضوية الأصل كذلك مجموعة الصخور الصوانية ومنها الطرابلسيات واليشبات والصوّانات .

وتتكون هذه الصخور كلها من قوقعات المشطورات وهي طحالب ذات هيكل عظمي من طبيعة صوانية ، ومن الشعاعيات وأشواك الاسفنجيات الصوانية . وتوجد الصخور المكونة من الشعاعية على شكل أوحال شعاعية سواء تم تمتينها الرسوبي أو لم يتم .

**ج ـ الصخور الرضيخية الأصل :**

وهي تصنف حسب أحجام الأجزاء التي تكوّنها **وحسب أصلها وأشكالها وهي أربعة :**

**القضات :**

وهي مكونة من أجزاء ذات قطر يفوق ميلمترين ولذلك فهي جد بارزة ومرئية . وقد تكون من رضيخيات متحولة أو رسوبية أو بركانية أو من عدة أنواع من الرضيخيّات . وفي هذه الحالة تعرف بالصخور المتعددة الأصل . وبالمقابل تكون أحادية الأصل حين لا تتكون إلا من نوع واحد . وإذا كانت الأحجار مستديرة يجمعها إسمنت صلصالي أو صوانيّ فهي تعرف بالكتالات . أما الركامات المسننة فهي الصخور ذات أجزاء مقرنة كما هو الشأن بالنسبة لحتات انجرافات التربة .

**الصخور الرملية :**

وهي مكونة من أجزاء يتراوح قطرها ما بين ميلمترين و و 1/32 **مم قد تكون ملتحمة فيما بينها أو غير ملتحمة . وهي صادرة عن تفكك الصخور البلورية ،** تشبه الرمال التي التحمت حباتها بمواد صوانية أو صلصالية أو طينية . ومن بين الصخور الرملية هناك الحث الناتج عن سَمْنَتَة الرمال الصوانية . فهناك الحث الصواني والحث ذو الاسمنت الصواني ويتميز كل منهما حسب مظهره المتماسك أو الخشن . وإذا كان الصوّان يجمع الحبات المكونة للصخرة فيتعلق الأمر آنذاك بالحث الصواني .

**الصخور الطينية :**

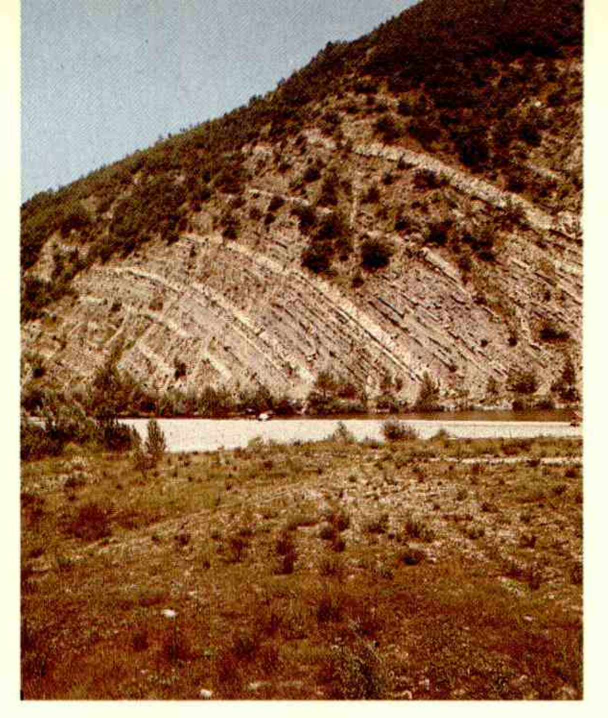
وهي مكونة من أجزاء لا يتعدى قطرها 1/32 مم ، حيث تتألف من الصخور الرضيخية الحتاتية الدقيقة . وقد تكون الصخور الطينية لم تتصلب بعد أو متصلبة بشكل نهائي . ومن بين الصخور الغير المتصلبة نذكر الطين القابل لامتصاص الماء وللمرونة القصوى ، وهذه الخاصية هي التي تجعل الأراضي الطينية تميل إلى الانزلاق فتحدث كوارث الانجراف الخطيرة . ويتخذ الطين لونا خاصا حسب طبيعة مكوناته : فهو أزرق إذا كان متوفرا على سلفور الحديد وأصفر أو داكن حين يتضمن أوكسيد الحديد. ويتحول الطين إلى جمعر حين يختلط بالصلاصيل .

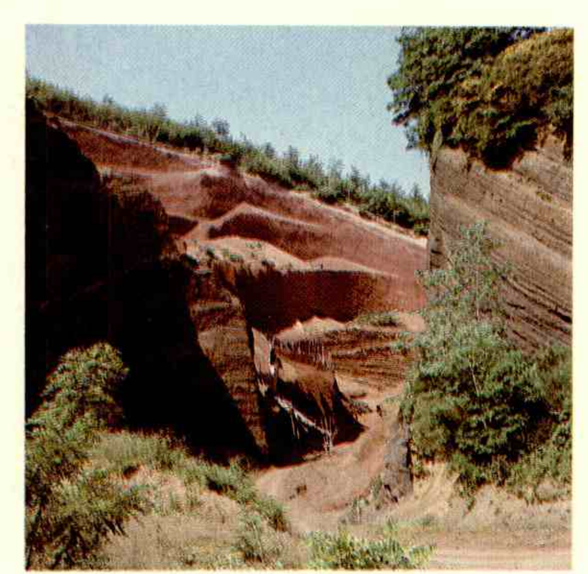




من بين الصّخور الرّسوبية العضوية المنشإ ، هناك الجبر (الصورة جانبه) المكوّن من قوقعات المشطورات والشعاعيات . وتمثّل الصورة أعلاه ، نموذجا للقضّة وهي من الصّخور الرّسوبية الرّضيخية الأصل . وتتكوّن القضّة من أجزاء صخرية يفوق قطرها ميلمترين ، وترجع إلى تفتّت الصّخور الرّسوبية القديمة أو الصّخور التحوّلية أو البركانية على حدّ سواء .

كيف نتعرّف عن الصّخور التحوّلية ؟





تنتمي الصّخور الطّينية إلى فصيلة الصّخور الرسوبيّة الرضّيخية الأصل . والأجزاء الصّخرية التي تتكوّن منها لا يتعدى قطرها 32 مم . وحين يختلط الطّين بالصّلصال فهو يتحوّل إلى جمعر (الصّورة اليسرى) .

**الصخور الحرارية :**

وهي الصخور المكونة من الحطامات البركانية كالرماد والرمال وحصى البراكين . ومن بين أنواع هذه الصخور هناك الفليسات الخفيفة والمسامية المستعملة في بناء المنازل والبزّولان . وتُصنف الفليسات حسب تكوينها إلى فليسات تراكيتية وإلى فليسات نسفية وإلى فليسات أندسيتية . كما تصنف حسب حجم أجزائها إلى فليسات أنبوبية وفليسات خفانية وإلى فليسات مسنّنة . وتتراوح ألوانها ما بين الأصفر والداكن والكستنائي .

**الصخور التحولية :**

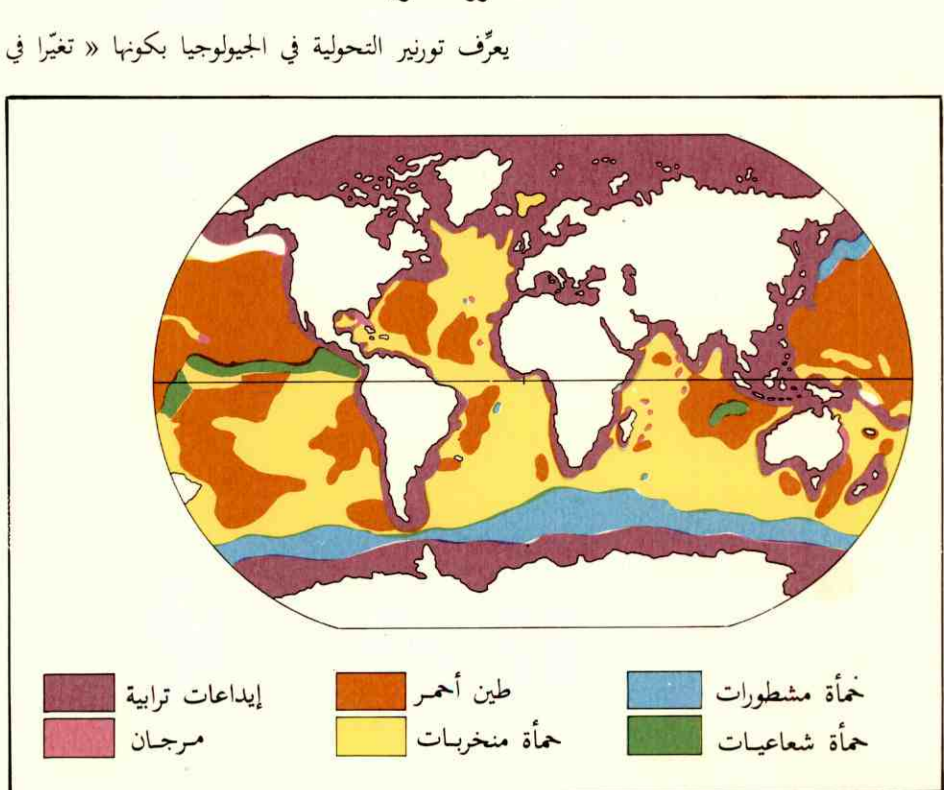
يعرِّف تورنير التحولية في الجيولوجيا بكونها « تغيُّرا في معدن بنية الصخر ناتجا عن ظروف فزيائية وكيمياوية ، كالضغط والحرارة ، تختلف عن الظروف التي كانت فيها في أصلها ».

وحسب الطريقة التي تم بها التحول نميز ما بين أنواع مختلفة من التحولية وهي كالتالي :

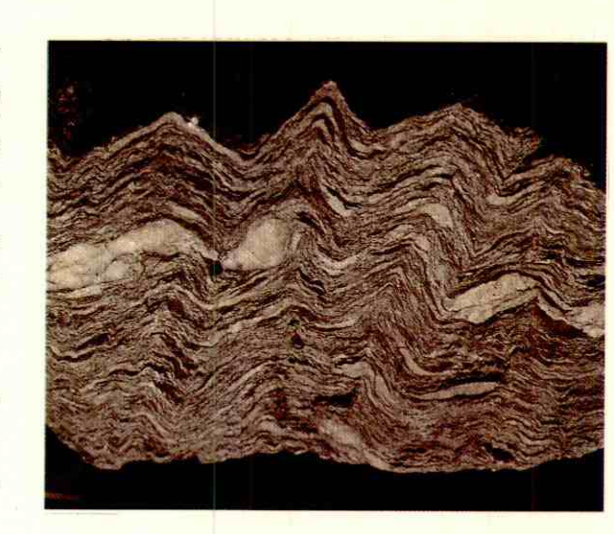
**تحوّليّة العمق :**

وتحدث حين تكون الحرارة مرتفعة جدا ويتضاعف الضغط في الأعماق حيث تحدث تفاعلات كيميائية على مستوى العناصر المكونة للصخور ، وذلك تحت تأثير وفرة بخار الماء المتواجد هناك .

وتكون التحولية الدينامية حين يتعلق الأمر بتغيير ناتج عن الدينامية الأرضية كتكوّن الجبال مثلا وكل مظاهر التضاريس المختلفة . فالضغوط القوية في باطن الأرض تجعل الصخور تتمطط وتتصفح وتثقل ، وهذه الظواهر كلها تساهم فيها كميات بخار الماء التي تتولد عنها تفاعلات




وتنتمي الفليسات بدورها إلى مجموعة الصّخور الرّسوبية الرّضيخية الأصل وخاصّة إلى فصيلة الصخور البركانية الفُتاتيّة . ويظهر في الصّورة اليمنى منجم لهذه المادّة . في الرسم جانبه : توزيع مختلف أنواع الترسّبات في مياه البحار .



من بين خصائص الصّخور التحوّليّة ، كونها نضيدية ، أي أنّ بالامكان فصْل صفائحها بسهولة . في الصّورة أعلاه نموذج للصّخور النّضيدية يعرف بالطّلق المنضّد .

كيميائية هائلة وظواهر تبلرية خارقة .
أما تحولية الاتصال : فتقع حين تكون صخرة رسوبية في تماس مع الحمم المتأجج . وتثير هذه الظاهرة تغيرات كيميائية ومعدنية في الصخرة تُعرف بالتحولية الحرارية ، وهي نوع من التغيّر الناتج عن اتصال أجسام شديدة الحرارة ، كما يمكن أن يثيرها الانسان بواسطة الانفجارات النووية .

ومن بين خصائص الصخور التحولية كونها نضيدية مما يسهل فصلها على شكل صفائح أو شفرات ، ذلك أن عناصرها المرقّقة أو الليفية التي خضعت إلى انسحاق طويل في اتجاه معين ، منضّدة بكيفية متوازية .

ومن بين الصخور النضيدية هناك الأردوازات وهي صفائح من الطين الأسود تستعمل لتغطية السقوف وصنع الألواح الحجرية المدرسية ، ثم الطلق النضيدي والطين النضيدي والميكا النضيدية والغنس . ويُعَدّ الرخام كذلك من بين الصخور التحولية إلا أنه غير نضيدي .

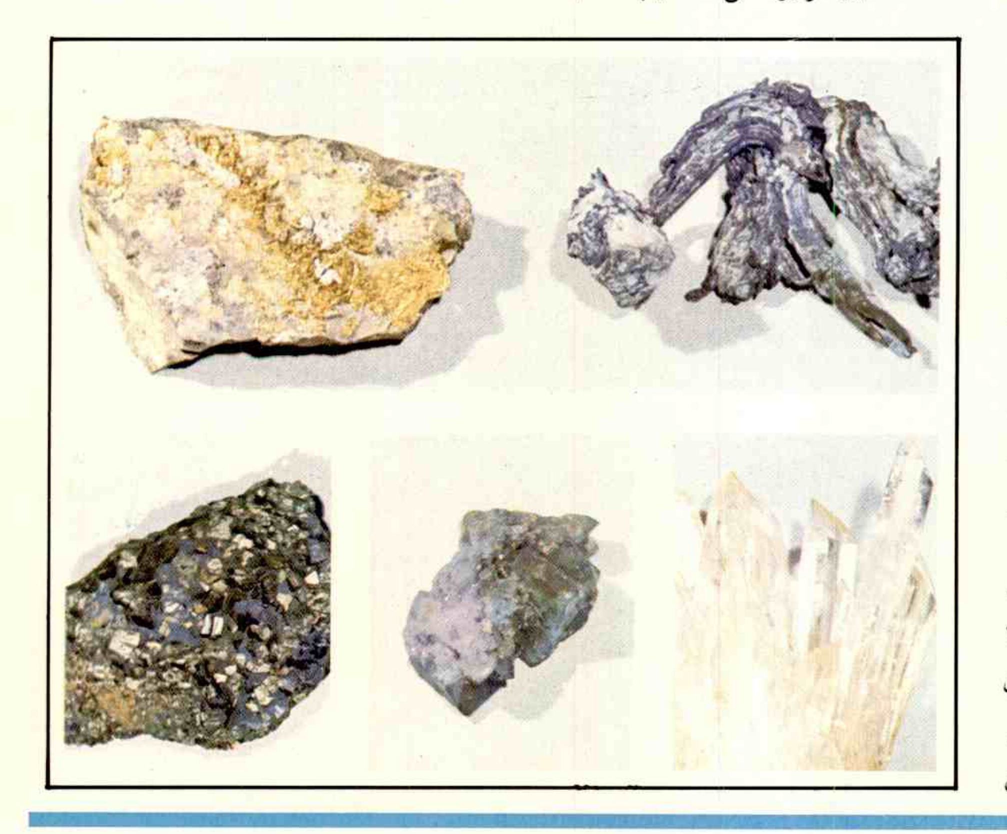
**المعادن**

إن الاختلاف الأساسي بين الصّخور والمعادن يكمن في كون المعادن تتميّز بصيغة كيماوية تحيل إلى مكوّنات المعدن نفسه . وهذه الصّيغة قد تكون متفاوتة التّعقيد ولكنّها في شتّى الحالات قابلة لأن تُعَلّم وتوضح بخلاف الصّخور التي يبقى من العبث محاولة وضع صيغة لها .

وتتكوّن المعادن الأكثر بساطة من عنصر واحد ومنها الذهب والفضّة والكبريت والكربون ، وهي معادن توجد على حالتها الصّافية ماعَدا الكربون الذي يتمثّل في بنيتين بلوريتين مختلفتين وَهما الماس والغرافيت . وهناك معادن أخرى بسيطة نسبيا وتنقسم إلى سلفورات (كالبوريطس) وأكسيدات (الاورانيت) وكلورورات وكربونات وسلفاتات وغيرها .

وتتألّف أغلب المعادن من سليكات ذات بنيات بلّورية مختلفة . ولذلك يصعب في بعض الأحيان تحديد ماهية المعدن من بين الستّة آلاف صنف التي يمكن العثور عليها .

ومن الخصائص البسيطة للمعادن ، اللّون واللّمعان والكثافة (أي الوزن النّوعي) ومظهر الكسر والصّلابة . إلّا أن العالم الألماني فريديرك موهس وضع خلال القرن الماضي مقياسا مبسّطا للصّلابة النّسبية عند المعادن . وحسب هذا المقياس ، فإن كلّ معدن قابل لحزّ المعادن التي تسبقه في التّصنيف والتّرتيب . ويعتبر هذا التّصنيف بسيطاً نسبياً بالمقارنة مع مقاييس أخرى بالغة التّعقيد تتمّ داخل المختبرات المتخصّصة وتعتمد على تقنيات متطوّرة كمجهر الاستقطاب والأشعّة فوق البنفسجية وانكسار الأشعّة السّينية وغيرها من الأساليب الدّقيقة .



# القشرة الأرضية : معطيات طبقاتية وبنيوية القشرة الأرضية

**ماهي الطّبقــة ؟**

إن ترتيب الصخور هي الكيفية التي وضعت بها على القشرة الأرضية . وهذا الترتيب مرهون بانتماء الصخرة إلى فئة الصخور البركانية أو إلى فئة الصخور الرسوبية . والصخور البركانية الاسترسابية متصلبة في تجويفات وشقوق الطبقات وتتولد عنها ركامات حجرية غير منتظمة . وهذه الركامات الحجرية تسمى عُمقيّة إذا كانت كبيرة وعميقة وانتفاخا بركانيا حين تكون عدسية الشكل وسدا بركانيا حين تكون استرساباتها متشعبة . وفي جميع هذه الحالات تكون ذات ترتيب متماسك . وبالمقابل ، فالصخور البركانية الاسترسابية تشكل تدفقات أو امتدادات سطحية محدودة الانتشار ولكنها ذات مظهر ضخم . أما بنية الصخور الرسوبية فهي ، كما سبقت الاشارة إلى ذلك ، ذات شكل طبقي ولذلك فترتيبها منضّد .

وكما رأينا سابقا ، فإن باطن القشرة الأرضية يشهد اضطرابات عميقة مجهولة الأصل ، تحدث تغييرا جذريا في ترتيب الصخور وتشوهها حيث تجعلها تتخذ مظاهر متباينة ومتميزة . وحسب كثافة الكتل الصخرية ، فإن الاضطراب قد يُحدث بها إما شقوقا أو مجرد تشويهات متفاوتة الأهمية . فالطين ، ذو الطبيعة المرنة ، حين يتعرض إلى ضغوط قوية ، ينثني بسهولة ، بينما الحث المسمنت على شكل كتل ضخمة يتعرض للكسر تحت الضغط .

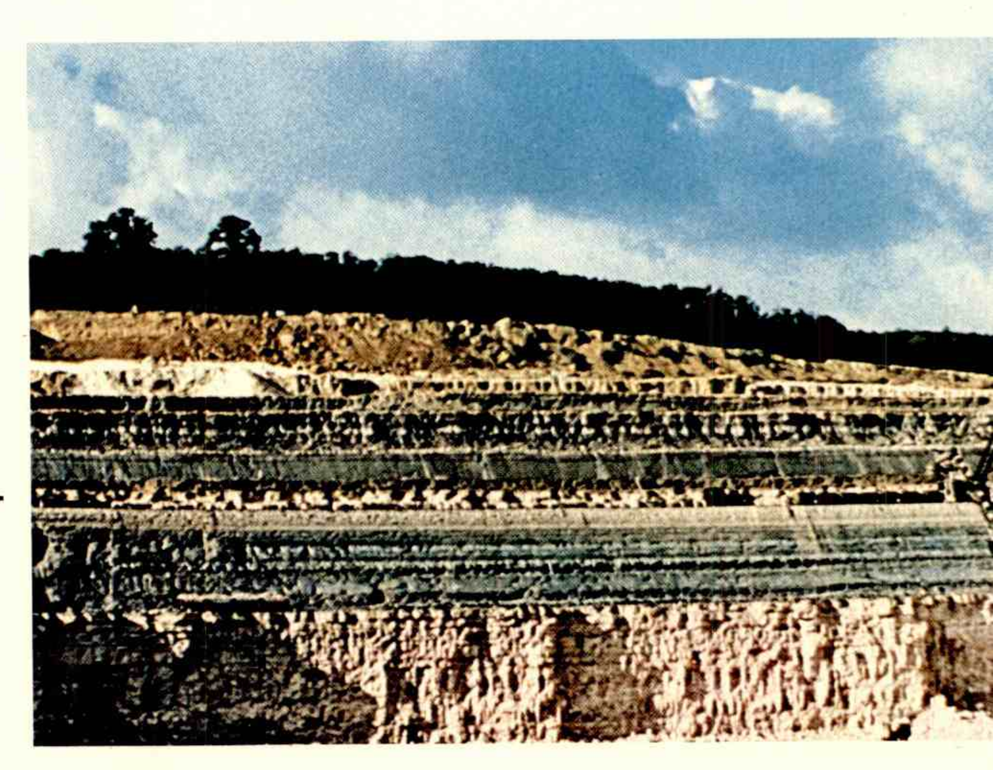
والجدير بالذكر أن التعرج أو الانشقاق مرهونان كذلك بقوة ومدة الاضطراب . فإذا كان الاضطراب مباغتا وعنيفا فإن الطين نفسه لا يقاوم فيصاب بالانكسار ، أما إذا كان الاضطراب بطيئا وممددا ، فإن الصخور الأكثر صلابة تتعرض كذلك إلى الانثناء والتعرّج . وعلاوة على ذلك ، فهذه التشويهات مقتصرة على جزء محدود من القشرة الأرضية . فكلما توغلنا في باطن الأرض كلما بدأت التعرجات تَقِلّ إلى أن تنمحي نهائيا في الأماكن التي توجد بها كتلة أساسية لم تتعرض من قبل للانثناء أو في الأماكن التي تظهر فيها الطبقات المتعرجة مفككة .

وبعد هذه النظرة الاجمالية حول الطبقات ، سوف نقوم بتدقيق مفهوم كل من الطبقة والتعرج والانشقاق وذلك في إطار شعب الجيولوجيا المتخصصة في هذا المجال وخاصة علم الطبقات الذي يدرس الطبقات وخصائصها والكيفية التي رتبت بها بنيات القشرة الأرضية وما ينشأ فيها من تغيرات بفعل القوى الجوفية .

فمصطلح طبقة يدل على كتلة صخرية ذات حجم كبير وسمك منقّص نسبيا . ومن خصائصها القوة والاتجاه والميلان والانغمار .

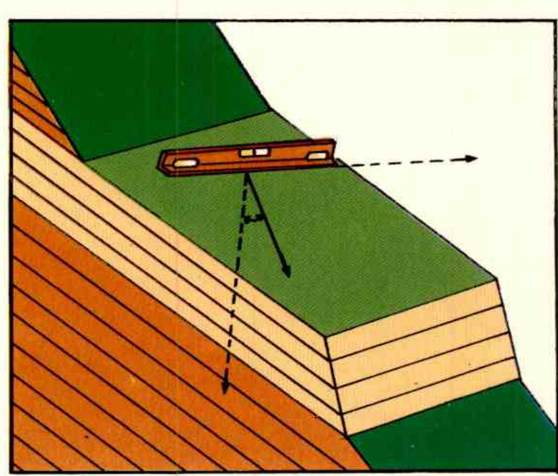
والقوة هي السمك الفاصل ما بين السطح السفلي ( السرير ) والسطح العلوي ( السقف ) . ويمثل السرير والسقف والقوة أهم عناصر الطبقة .

أما الاتجاه فهو حاصل خط افقي مثالي مرسوم على



من خلال حفر المقلع في الصّورة جانبه تظهر لنا مختلف طبقات التّربة المتراكمة عبر حقب الزمن . ولنتخيّل طبقات أعرض وأعمق تقع تحت القشرة الأرضية ولنفكّر في ما يترتّب عن حركاتها ؟ وهذه الطّبقات هي التي تتمّ دراستها في ميدان الطبقاتِية أو علم الطّبقات .

## لماذا تتنقّل الطّبقـات ؟



الرسم أعلاه يبيّن خصائص إحدى الطّبقات وهي القوّة والاتّجاه والميلان والغمر .

واجهة الطبقة . وهو مرتبط بالجهات الأصلية التي يمر منها ذلك الخط .

والميلان هو الزاوية التي يشكلها سطح الطبقة مع خط الأفق المستوى .

أما الانغمار فنحصل عليه بواسطة الجهة الأصلية التي يتخذها الخط العادي المتعامد بالنسبة لخط الاتجاه .

ومن بين خصائص الطبقات هناك عرض التسوية وهو مُمثّل في الجزء الخارجي للطبقة ، ولا يجب الخلط بينه وبين السمك لأنه قد يتجاوزه، إذا مكّنه الميلان من ذلك . لنتخيل مثلا أن تلة تتجه قمتُها نحو الشمال وسفحُها نحو الجنوب وعلى طولها تمتدّ طبقة طولها حوالي مائة متر . فهذا الطول لا يتناسب مع قوة الطبقة ولكنه انعكاسٌ لقطعها المنحرف البارز في الهواء .

ويقاس كل من الاتجاه والانغمار والميلان بواسطة بوصلة الجيولوجي المجهّزة بآمت وهو على شكل بندول صغير يبيّن بالدرجات الستينية قيمة الميلان .

وتكون الطبقات منسجمة ومتطابقة عندما تكون متوازية بعضها مع بعض ، وهذه الظاهرة تدل على أنها لم تتعرض لأي اضطراب بعد أن تم إيداعها . وبالمقابل إذا كانت الطبقات متنافرة ومتقصّفة فذلك يعني أنها غير متوازية بعضها مع بعض وذلك راجع لأحد العوامل أو لبعض الانخلاع والتفكك الذي حطم ترتيبها الأصلي .

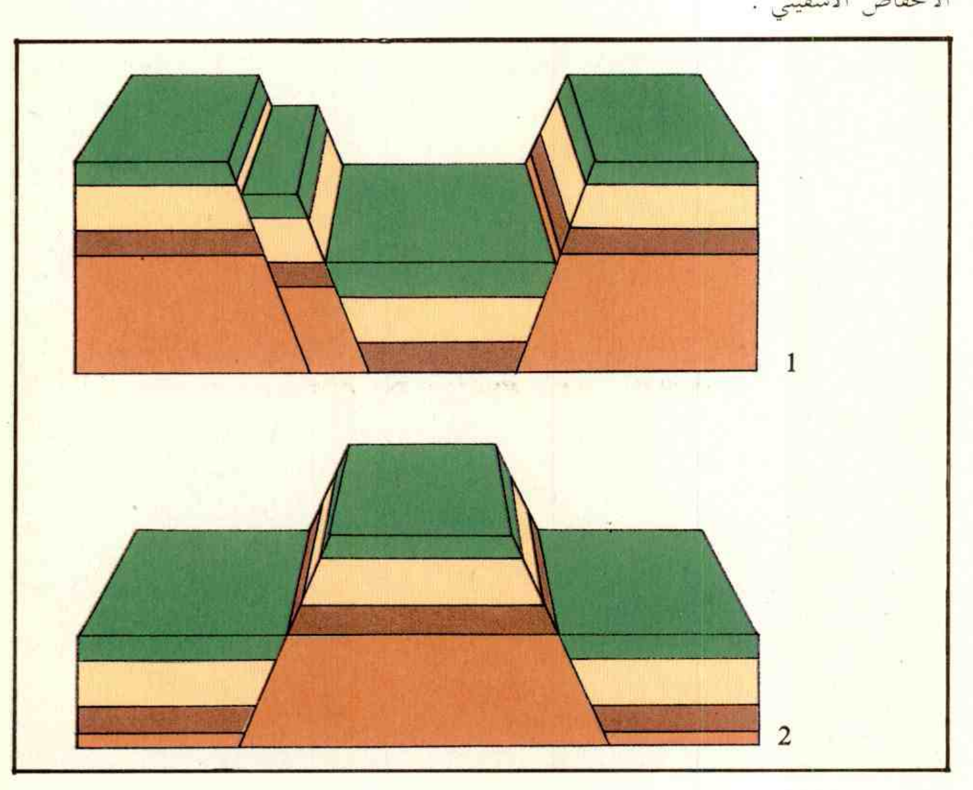
والتفككات التي سبق ذكرها هي الانثناءات والكسور أو الانشقاقات . فالانثناء يرجع إلى تعرُّج الطبقات ويمكن أن يتخذ شكلا مقعَّرا أو مقبّبا . فالثنية المقعرة تسمى قعيرة والطيّ المقبّب يسمى إحديدابيا . وفي الثنية الغير البارزة تعرف الجنبات بالخواصر ، أما إذا كانت قعيرة فتعرف بالأجنحة بينما تعرف بالسّيقان إذا كانت متحدِّبة .

والمستوى المحوري للثنية هو المستوى الذي يمر من أقصى قمة الخط المقوّس ويعرف بملتقى السفحين . وتصنف الثنايا حسب وضع مستواها المحوري بالنسبة للأفق . فهناك الثنايا المستقيمة ذات المستوى المحوري العمودي والثنايا المتمددة ذات الخط المحوري الأفقي والثنايا المتوازية المنحدرة ذات المستويات المحورية المتوازية المتوفرة على نفس الانحناء ، والثنايا المروحية الشكل ذات المستويات المحورية المتباعدة في الاتجاهين الأعلى والأسفل .

وتنقسم التقصّفات والشقوق إلى طبقات حجرية عندما تكون الشقوق طويلة وإلى تفسخات صخرية عندما لا يتعرض الجزآن إلى أي تنقل ، ثم تفسّخات متوازية ( أو انقصاف جيولوجي أو طفرة أو ردّ ) عندما يكون أحد الطرفين منزلقا على طول خط الانقصاف .

وهناك ظواهر أخرى ذات أهمية في هذا المجال ومنها التفككات البنيوية والرصيف الحاجز ( أو مكسر الأمواج ) والتشوهات المرتبطة بالثنايا والانقصافات ، ثم الانسلال .

والحفرة البنيوية الأديم تنتج عن انهيار شامل للطبقات الموجودة بين انقصافين يتوفران على مستويي تصدع متسائلين نحو الأسفل حيث يصدر عن ذلك نوع من الانخفاض الاسفيني .




الرّسمان جانبه : الرسم (1) يمثل حفرة بنيوية الأديم والرسم (2) يمثّل ضحمة . وكما نلاحظ ، فالأمر يتعلّق بظاهرتين متشابهتين ولكنّهما معكوستان .

## لماذا تتنقّل الكتل الصّخرية ؟

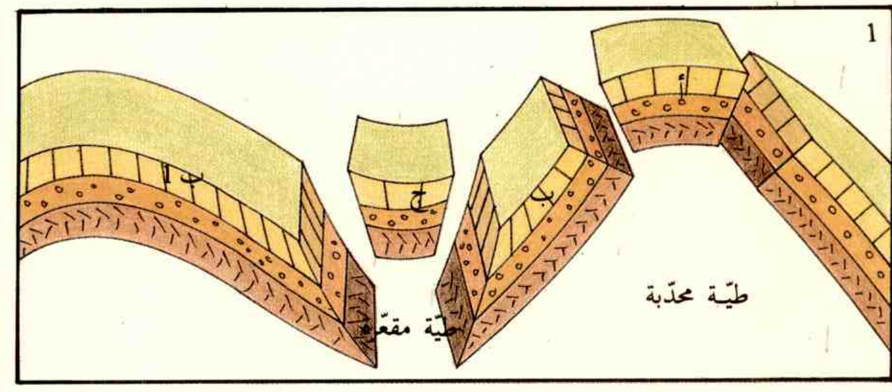
يظهر في الصورة أعلاه تلاحق التعاريج الصّلصالية ويمكن ملاحظة مدى مرونة هذه الصّخرة .

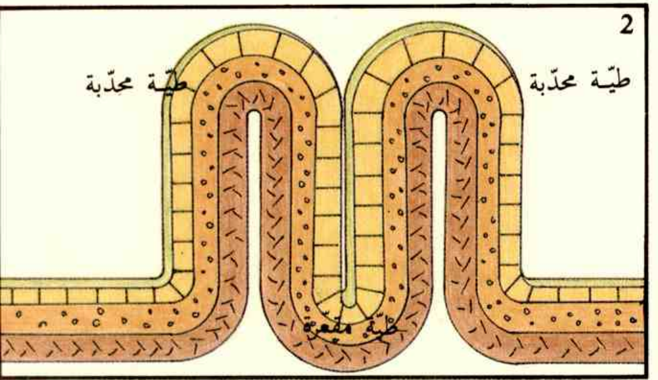
وينشأ الرصيف الحاجز أو مكسر الأمواج في الحالة المعاكسة ، أي حين تنحدر كتلتان صخريتان منزلقتان على طول منقصفات ، بالنسبة لكتلة مركزية تكون بدورها على شكل زاوية وتبقى مرتفعة .

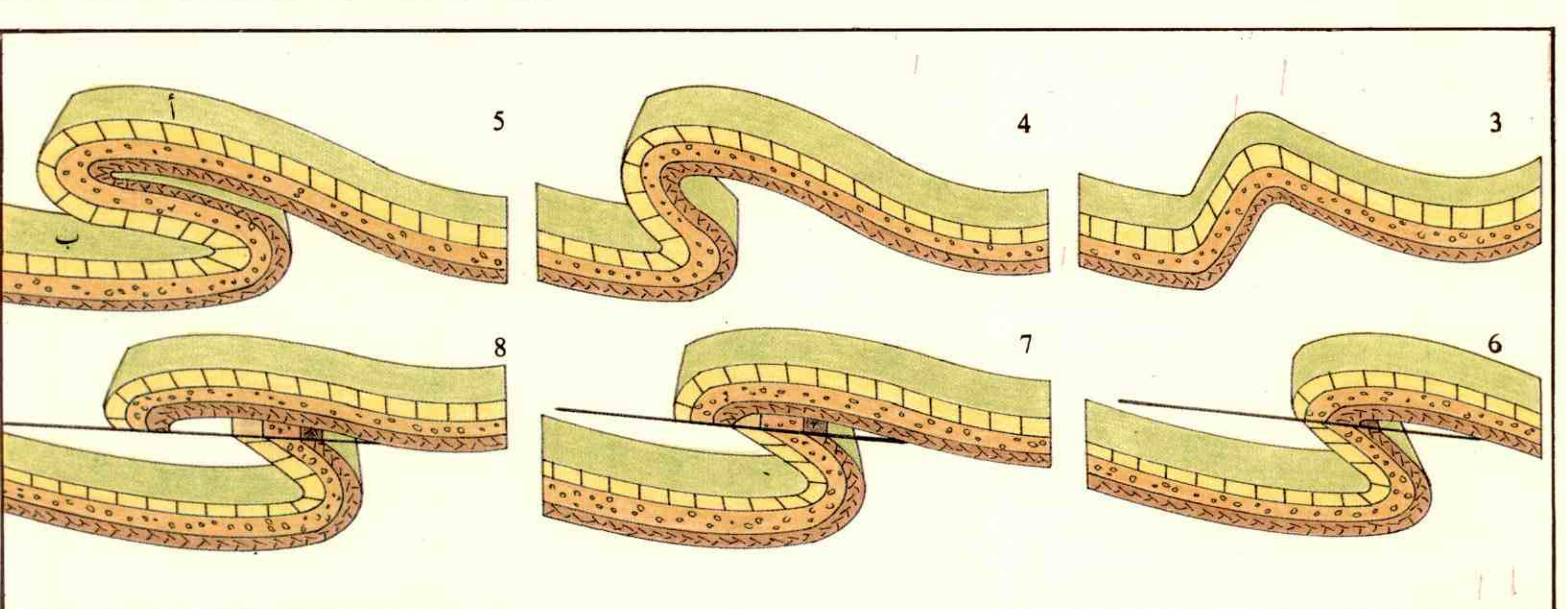
أما تشوّه الثنية والانقصاف فيكون حين تظهر كتلة منضدة بأجزاء صخرية صلبة تقاوم الانثناء وبطبقات صخرية لدائنية . وعندما تتعرض هذه الطبقات لضغط قوي فإن كل واحدة منها تتأثر حسب طبيعتها الخاصة مما ينتج عنه ظاهرة تشبه الثنية ولكنها في نفس الوقت تشتمل على سلسلة من الانقصافات الموزعة على طول مستويات الانقصاف .

وهناك ظاهرة خاصة يتم خلالها حصول كتل صخرية عميقة إلى السطح بعد اختراق الطبقات العليا ويمكن تسميتها

في الرسم (1) : (أ) نواة الطيّة المحدّبة ، (ج) نواة الطيّة المقعّرة ، (ب) و (ب 1) الخاصرتان . في الرسم (2) طيّتان محدّبتان متتاليتان ، وبينهما طيّة مقعّرة ، في الرسم (3) طيّة مستقيمة ، بينما في الرسم (4) تظهر طيّة مائلة ، وفي الرسم (5) طيّة مقلوبة يمثّل فيها (أ) الخاصرة العادية و (ب) الخاصرة المقلوبة . في الرسم (6) طيّة مقلوبة يظهر بها خطّ الانقصاف (الخطّ الأسود) . الرسم (7) يبيّن تشوّها على شكل طيّة وانقصاف ، وفي الرسم (8) انقصاف .



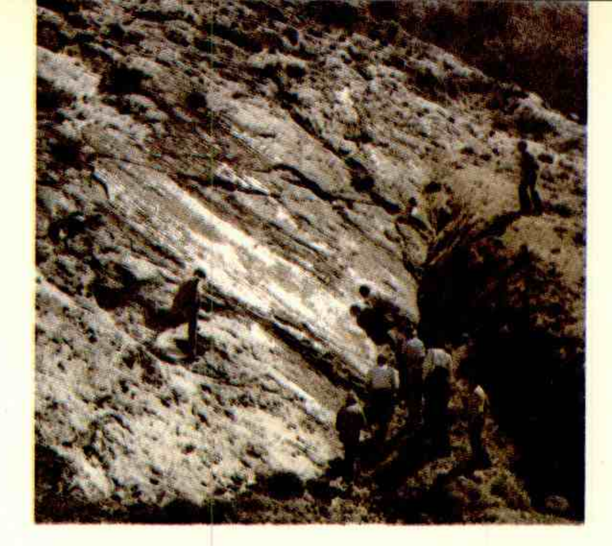



بالتصاعد السطح (Diapérisme). والنموذج المعروف في هذا المجال هو الملح الكريم المقرون غالبا بالجبس والانهدريد . وهو رغم كونه مادة لدائنية باستطاعته اختراق طبقات يبلغ سمكها أحيانا عدة آلاف من الأمتار مكونة من الصلصال والحتّ .

وحاصل القول ، يمكن التمييز بين نوعين من القوى الدافعة الموجّهة التي تغيّر من شكل القشرة الأرضية .

فالصنف الأول يتمثل في القوى الدافعة ذات الاتجاه المماسي بالنسبة لسطح الأرض . أما الصنف الأرضي فتمثله القوة الدافعة الموجهة جذريًا . وينتمي الصنف الأول إلى مجال تكوُّن الجبال حيث إن المناطق المنقصفة تصدر كذلك عن الحركات المماسية . فإذا كانت الحركة من النوع الانضغاطي فيمكن أن تحدث ثنايا أو انقصافات حسب طبيعة الطبقة الصخرية . أما إذا كانت الحركة من النوع الممدّد فإن الانقصافات هي التي تحدث دائما . أما القوة الدافعة من الصنف الثاني فتثير حركات تكوّن نتوءات صخرية عمودية وتهم بالأساس الكتل القارية .



في الصورة ، جانب من انقصاف مليء بالتّخديدات .

سبق أن تحدثّنا عن العمليات التّي تؤدي إلى تشكيل وتسوية التّضاريس ، والرسم (أ) أسفله يبيّن بكيفية مبسّطة وواضحة كيف تتمّ هذه العمليات ومنها التّعاريج والانقصافات وغيرها ، وكذلك العمليات النّاتجة عن النّشاط البركاني . أما الرسم (ب) فيبيّن ظاهرة الحتّ التي تقوم بها المياه الجارية . ويتمّ الحتّ بالتوازي مع العمليات السّابقة كما يمكن أن يتجلّى من خلال مقارنة الرّسمين .

# البركانية والظواهر الزلزالية :

البراكين :

يوجد حاليا في أنحاء العالم حوالي 450 بركانا نشيطا وعددا كبيرا من البراكين الخامدة . وتشتهر بعض البراكين الثائرة بالكوارث التي تحدثها عند ثورانها والمتمثلة في الخراب الذي تلحقه بالبيئة والانسان .

ففي سنة 1979 ، هاج بركان فيزوف بعد قرون من السكون ، وكان انفجاره عنيفا جدّاً حيث اقتلع قنة الجبل وكانت كميات الرماد التي قذف بها هائلة بحيث غطّت مدينة بومبي بكاملها .

وفي سنة 1983 ، في كراكاتو ، إحدى جزر أندونيسيا المكونة من ثلاثة براكين خامدة منذ سنين عديدة ، حدث انفجار مهول دمّر ثلثي الجزيرة وأثار زوابع ضخمة أصابت الجزر المجاورة وأودت بحياة 36000 شخصا . ومع ذلك ، فإن المناطق البركانية تعرف كثافة سكانية مرتفعة لكون أراضيها كثيرة الخصوبلا، فالرماد وحصى البراكين والحمم البارد والمنحتّ ، كلها عناصر تحتوي على مواد تخصب التربة .

ولتعريف البراكين ، يمكن القول إنها تقصفات القشرة الأرضية التي تخرج من شقوقها مواد غازية أو سائلة أو صلبة تأتي من باطن الأرض .

وتتكون بنية البركان من حوض صهاري يكون بمثابة نقطة تجمع الطفح (اللابة) المذاب والمشتمل على

في الصورة أسفله ، نشأة بركان باريكوتين بالمكسيك . وهذا المنظر فريد من نوعه بالنّسبة للظّواهر البركانيّة .



## تكوُّن البركان

بخار الماء وغازات أخرى ، ومن منفذ على شكل قناة تمر منها الصهارة من الحوض إلى السطح ، ومن فوهة تمثل الجزء النهائي للمنفذ ، وهي الفتحة التي تقذف منها المواد البركانية ، ثم من مخروط بركاني ، وهو الجزء الخارجي المكون من تراكم المواد البركانية المقذوفة .

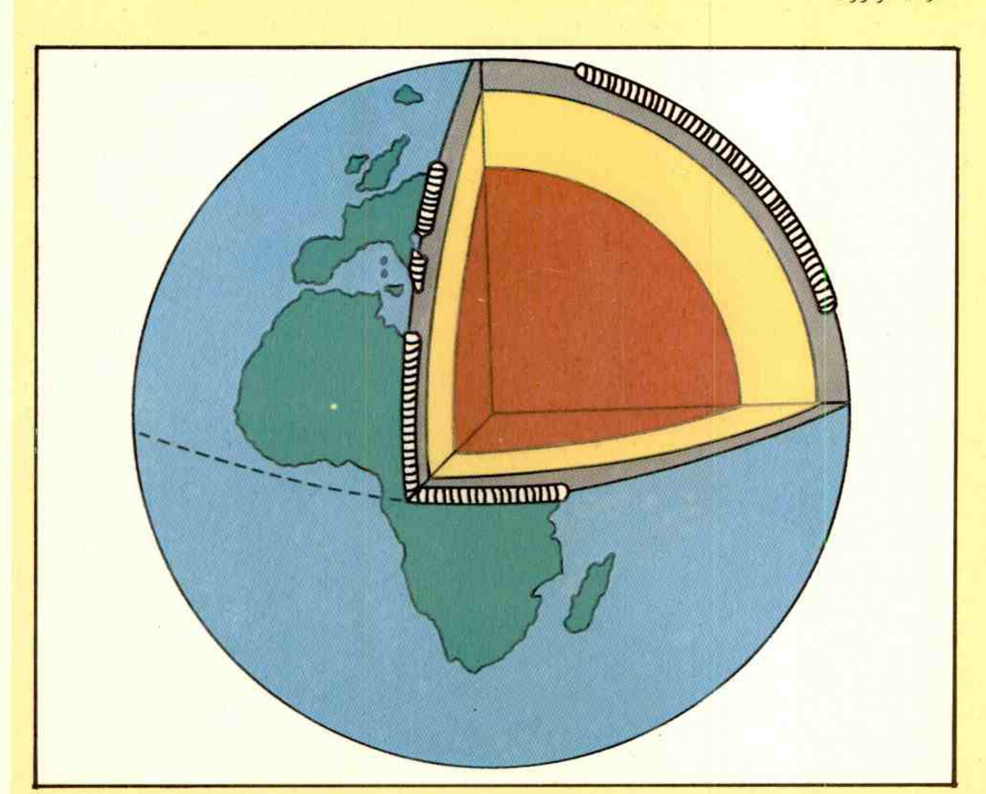
ومن الناحية المورفولوجية ، يمكن تصنيف البراكين إلى أنواع مختلفة حسب طبيعة صهارتها ومدة الظواهر الثورانية وكمية المواد المقذوفة . فإذا كانت اللابة ( الطفح ) سائلة فهي تتدفق من شقوق الصخور ثم تمتد على مساحات واسعة قبل أن تتصلب وتتولد عنها براكين منضدية مسطحة . ومن أشهر براكين هذا الصنف ، بركان انفجر في داكان بالهند حيث انتشر على مساحة تبلغ حوالي 600.000 كلم . وإذا كان الطفح شديد الميوعة فهو يتراكم بمجرد خروجه من الفوهة ، على شكل طبقات منضدة ، مما يخول للبركان شكلا مسطحا ، ويعرف هذا الصنف بالبراكين الدِّرعية ، وهي كثيرة في كل من إيسلندا

## ماذا يوجد في باطن الأرض ؟

لفهم الظواهر البركانية ، لابد من الرجوع إلى بداية نشأة وتشكل الكرة الأرضية . فمن المعتقد أن الأرض في أصلها كانت عبارة عن كرة من الغازات والغبار الجوي الشديد الحرارة . ومع مرور الزمن ، وتحت تأثير قوة الجاذبية تكثفت هذه الكرة حيث تمركزت موادها الصلبة في وسطها وتناثرت المواد الأخف وزنا في السطح . وما إن انخفضت الحرارة بما فيه الكفاية حتى تكونت قشرة أولية تكسرت ثم تشكلت من جديد عدة مرات بفعل الحرارة الباطنية . وأدى انخفاض الحرارة الموالي إلى تصلب القشرة الأرضية مع بقائها على درجة معينة من الحرارة كافية لمنع البخارات المحيطة بها من التكثف فوق السطح . وبفضل البرودة التدريجية للبخارات والقشرة، بدأت الأمطار تتهاطل على السطح والمنخفضات والحفر المتفاوتة الاتساع تمتلىء لتكون منها البحار الأولى.

وعند دراسة الموجات الزلزالية ، يستخلص أن الأرض مكونة من ثلاثة أغشية متراكزة متجمعة على شكل ثلاث طبقات أساسية تتضاعف كثافتها بازدياد عمقها . ومعلوم أن معدل كثافة الأرض ( أي حاصل ضرب الكتلة في السعة ) يبلغ 5،5 غرام/سم ، بينما تتراوح كثافة الصخور التي تكونها ما بين 2،5و 3 غرام / سم . وعليه يمكن القول إن الجزء الباطني للكوكب ذو كثافة أكثر ارتفاعا تعوض خفة الطبقات الخارجية . ويتناسب هذا الاختلاف في الكثافة مع الاختلاف الكيماوي ما بين العناصر الكبرى : فالنواة مكونة من معادن ثقيلة مثل الحديد والنيكل وتصل كثافتها ما بين 8 و 10 غ/سم . أما البطانة الأرضية فتتكون من صخور غنية بسليكات المنغنيز ولها كثافة تتراوح ما بين 3 غ / في الخارج و 5،5 غ /سم في الجزء الأقرب إلى النواة . أما القشرة التي يتراوح سمكها ما بين 6 و 60 كلم ، فهي مكونة من نوعين من المعادن : فالكتل القارية غنية بسليكات الألمنيوم بينما الأعماق البحرية الأكثر حداثة وكثافة ، تتكون أساسا من السيليس والمنغنيسيوم . ومباشرة تحت القشرة ، توجد طبقة تتغير كثافة مادتها فجأة حيث تتراوح ما بين 2،9و 3،3 غ /سم ، وتعرف بطبقات انقطاع موهوروفيسيك ( أو موهو ) ، إذ تحمل إسم العالم الذي اكتشف وجودها سنة 1909 عند دراسته لتسجيلات هزات الزلزال الذي وقع في تلك السنة . ويتغير عمق هذه الطبقة حسب المناطق ، إذ يتراوح ما بين 30 و 40 كلم بالنسبة للقارات ، وما بين 5 و 10 كلم بالنسبة للمحيطات . وهي على ما يبدو مكونة أساسا من مواد سائلة تقريبا . ووجود البراكين من الأدلة القاطعة على أن باطن الأرض شديد الحرارة . وقد أثبتت تجارب أجريت في الآبار العميقة والمناجم أن الحرارة تتضاعف تناسبيا مع الأرض . فعند 1000 كلم تحت سطح الأرض تكون الحرارة فوق الألف درجة مئوية ، وعند 2000 كلم تتجاوز 2000 درجة ، وتصل ما بين 3000 و 4000 درجة عند النواة .

وهكذا يمكن الاعتقاد أن كثرة المواد الموجودة في مركز الكرة الأرضية تكون سائلة بتعرضها لهذه الحرارة الشديدة ، ولكن الأمر غير ذلك ، لأن الضغط العالي الذي يقع عليها يمنعها من التمييع ، ويجعلها صلبة ومتماسكة . إلا أن هذه الكتلة من المواد تصدر عنها حركات آلية حيث تنتقل من مكان إلى آخر ، وحركات حرارية تغير درجات حرارتها ، ولهذه الحركات تأثيرات مختلفة على القشرة الأرضية . فإذا كانت الحركات بطيئة ، فإن مفعولها يظهر بعد زمن طويل، أما إذا كانت عنيفة وسريعة فهي تثير تقلبات مهمة تتمثل في الظواهر البركانية والزلزالية .



الرسم جانبه يمثّل مركبات الأرض بطبقاتها الأساسية الثلاث وطبقة ماهوروفيك الانقطاعية (أو طبقة موهو) .





بركان مونالوا بهاواي ، وهو من النّماذج الدّرعية المتميّزة ، ونلاحظ سيولة الحُمم القَعري .

وجزر هاواي ، وتكون ذات مقاييس هائلة ، إذ يصل ارتفاعها إلى أزيد من 4000 متر كما تمتد قاعدتها أحيانا على مساحة عرضها 400 كلم . وتكون منحدرات هذه الجبال البركانية قليلة الانحناء ويمكن أن تمتد إلى 5000 متر من العمق تحت مستوى البحر .

وعندما يكون الطفح كثيفا ولزجا ، فإنه يتمكن من حبس المنفذ البركاني . ويحدث أحيانا أن يقوم ضغط الغازات المكبوتة بتفجير هذه السدادة الطفحية ، فتقذف المواد الصلبة على شكل ركامات واسعة حول الفوهة ، ويكون المخروط آنذاك حادا . ويعرف هذا الصنف بالبراكين المختلطة ، وهي كثيرة وتتميز بتعاقب بين فترات النشاط الطويلة وفترات الاندفاق ، مما يسبب تداخل الطفح والرواسب . وفي حالة الانفجار العنيف ، فإن الجزء الأعلى من البركان ينهار ويتحول محور الثوران ، ثم تنشأ محل الفوهة حفرة قِمْعِيّة الشكل تسمى **الجُفْرة** ( كالدِيرا ) ، يتكون وسطها مخروط جديد . في هذه الحالة نكون إزاء البراكين ذات الحزام مثل فيزوف المكون من مخروط يقع في حفرة جبل سوما .

صورة الصفحة جانبه : تدفّق اللاّبة من بركان ايتنا بإيطاليا .

الرّسم جانبه : أهمّ النّماذج البركانية وخصائص نشاطها . ويظهر من بينها النّموذج الهاواپي المتميّز بإرسال كميّة كبيرة من الحُمم الشّديد السّيولة ، والنّموذج البيرّي الشديد الانفجار ثم النّموذج البِيليي المتميّز بلابته الشّديدة اللّزوجة وضغط غازي طفحيّ شديد .

النّموذج الهاوايي

النّموذج البيّــري

النّموذج السترمبولي

النّموذج الميرابي

النّموذج الفولكاني

النّموذج الكبريتي

النّموذج الفيزوفي

النّموذج البيليــي

كم هي أنواع الانفجارات البركانية المعروفة ؟

**نشاط البراكين :**

إن نشاط البراكين غير متواصل ، بل يمر عبر مراحل متعاقبة تتراوح ما بين مراحل الثوران القصيرة وفترات السكون الطويلة . ومن هذا المنطلق ، تصنف البراكين حسب نوعية نشاطها إلى براكين ثائرة وبراكين ساكنة وبراكين خامدة .

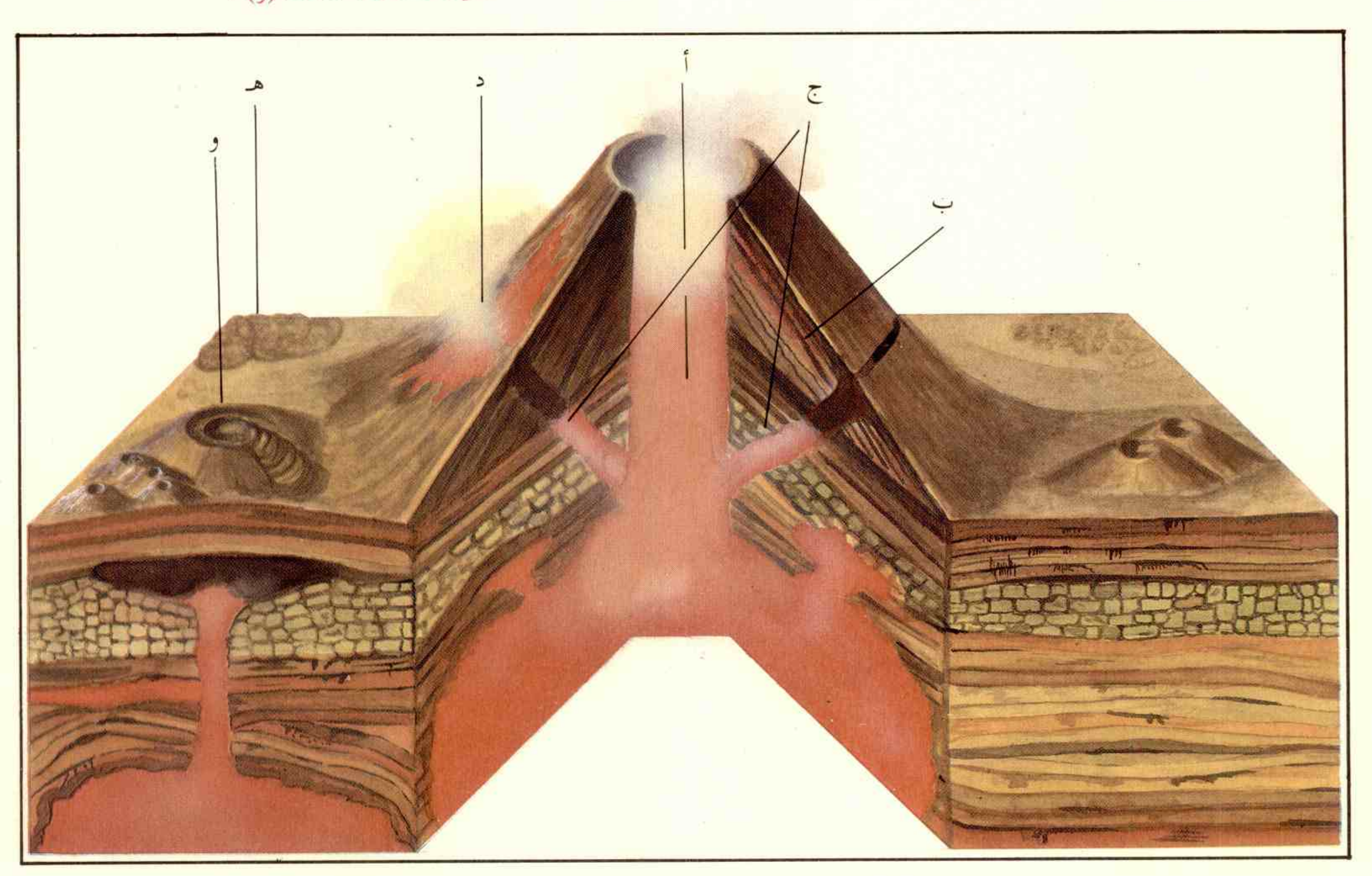
ويكون البركان نشطا حين تصدر عنه اندفاعات بينها فواصل منتظمة . وتكون البراكين ساكنة حين تكتفي ، بعد الانفجار بقذف الغازات والبخارات . وهناك براكين تبقى دائما على هذه الحالة ، وتعرف بالبراكين الكبريتية أو السلفتارية لأن مقذوفاتها غنية ببخار الكبريت . أما البراكين الخامدة فهي التي لا يصدر عنها أي نشاط منذ سنين طويلة .

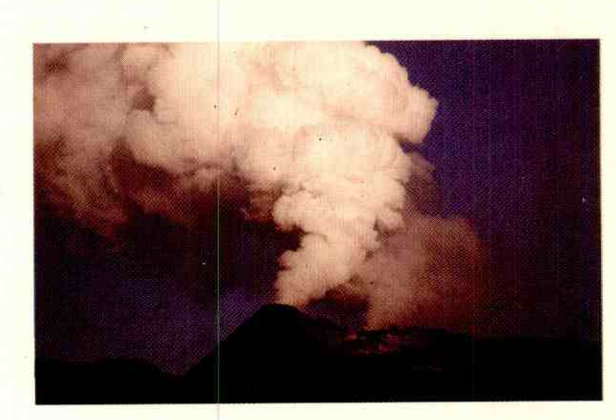
وتجدر الاشارة إلى أنه لا يجب تبني هذا التصنيف بكيفية صارمة وقطعية ، لأن بعض البراكين التي كانت مصنفة كخامدة قد تثور من جديد وتعذو نشطة . ففي سنة 79 م كان يعتقد أن فيزوف قد خمد إلى الأبد لأنه لم تصدر عنه أية علامة للحياة منذ عشرات وعشرات السنين .

وبصفة عامة ، يمكن القول إن نشاط البركان يمر بمراحل ثلاث وهي الانفجار والقذف والفوحان .

وتكون المرحلة الانفجارية أحيانا مسبوقة بهدير واهتزازات زلزالية . ويعقبها خروج عمود هائل من البخار الممتزج بالمواد البركانية الفُتاتية الدقيقة كحصى البراكين والرمال والرماد . وبعد ذلك يقذف الطفح ( القذف ) وتتلوه

الرسم أسفله : تمثيل مبسّط البركان وما بداخله . (أ) غرفة الصّهارة ، (ب) الطّبقاتْ التي يضعها الثّوران بعضها فوق بعض لتشكيل مخروط بركاني ، فإذا حدث ضغط على المنفذ الرّئيسي يمكن أن تتكوّن قنوات جانبية (ج) ومنافذ إضافية (د) يخرج منها الحُمم على شكل صخور سائلة مختلطة بالغازات . ويحدث ذلك بسهولة عندما تتكوّن الشّقوق على خواصر البركان . وإذا تعرّضت الفوهة الرّئيسية أو إحدى الفوهات الثّانوية إلى انهيار في غرفته الصّهاريّة ، فقد تتشكّل دسِتيّة (هـ) . وحين يكون الثّوران خطّيا ، لا يتكوّن بركان ولكن فقط امتدادات مسطّحة من الحمم السّائل يغطّي أحيانا مساحات شاسعة (و) .





أعلاه بركان ايتنا بإيطاليا ، وهو من البراكين التي مازالت نشطة . ويظهر عمود البخار والغازات منبعثا من فوّهته .

تصاعدات بخارية وغازية ( الفوحان ) ثم يعود البركان إلى السكون في إنتظار ثوران جديد .
وتصنف الانفجارات بدورها حسب المواد المقذوفة والطريقة التي يتم بها الثوران . وفيما يلي أهم الأصناف :

الصورة أسفله ، منظر ليليّ رائع ومرعب في نفس الوقت لتدفّق حُمميّ .

ـــ **الانفجارات السترومبولية** ، وتتميز بتدفقات الطفح البزلتية وبإرسال الغازات والبخارات ، وهي متقطعة تتخللها بكيفية دورية انفجارات صغيرة مصحوبة بقذف مواد صلبة .

ـــ **الانفجارات الفيزوفية** ، وتتميز بتعاقب فترات الثوران الأقصى المصحوب بالانفجارات المهولة ، وفترات السكون شبه التام . ويتمثل الانفجار في إرسال سحاب أسود وكثيف من الغاز والبخار والغبار ، ويكون الطفح المتدفق قليلا . ويرجع هذا الانفجار إلى انحباس المنفذ بالطفح المتصلب ، ثم انفجار هذه السدادة تحت تأثير الضغط الغازي الصادر عن الحمم الموجود في جوف البركان . ويمكن مقارنة هذه الظاهرة بقنينة مشروب غازي يتم خضها فيتضاعف ضغط الغاز إلى أن يفجر السدادة ويتدفق السائل على شكل فوارة .

ـــ **الانفجارات الفولكانية** ، وهي غاية في العنف ولا تقترن بسكب طفحي . فالصهارة الحامضة تقذف على شكل قنابل مصحوبة بسحب بركانية كثيفة وسوداء مكونة من مواد دقيقة وغازات وبخار الماء .

ماسرّ هول الانفجارات الهوايّـة ؟

**ـــ الانفجارات البيليئية** ، وهي بالغة العنف والخطورة حيث تقذف صهارة جد لزجة . وخلال الثوران ترسل مواد بركانية فتاتية ممزوجة ببخارات شديدة الحرارة تشكل سحبا مضطرمة وكثيفة تتساقط بسرعة منتشرة على المناطق المجاورة . ففي سنة 1902 ، تعرضت مدينة سان بيير بمارتينيك إلى الخراب التام وهلك 30.000 من سكانها بفعل السحب المتوهجة التي تكونت على إثر سلسلة من الانفجارات في جبل بيلي . ويحدث أثناء هذا النوع من الانفجارات أن تقذف الفوهة حمما متأججا ومتصلبا يهبط ببطء . وتصل سن الحمم في جبل بيلي إلى عدة مئات الأمتار .

**ـــ الانفجارات الهوايانية** ، وهي أقوى وأهول الانفجارات كلها رغم كونها هادئة . وتتميز بإرسال حمم شديد السيولة وبعدم قذفها للمواد الصلبة . ويرجع ذلك إلى أنه رغم أهمية الغازات بها ، فهي أقل كمية من الحمم . ويبلغ عرض فوهتها أحيانا أربعة أو خمسة أمتار ، وتتكون بداخلها بحيرة من الحمم المتوهج تتعالى على مئات الأمتار .

**التأثيرات الطفيفة للبركانية :**

« عندما يسمع المرء بالنشاط البركاني ، يتبادر إلى ذهنه فورا مشهد الانفجارات المهولة وتيارات الحمم المتدفقة على السفوح المتشققة ، التي تهوي بعنف مخربة كل شيء في طريقها ، وأنهار من الحجارة والرماد ، وسحب متوهجة وفوحان من الغازات السامة وانفجارات تفتت الجبال وتهز

**المواد البركانية :**

إن طبيعة المواد التي تقذفها البراكين مرهونة بالتكوين الكيميائي للحمم ، ولذا يتم التمييز في هذا المجال بين المواد البركانية الفتاتية والمواد اللابية ( أو الطفحية ) والمواد الغازية . وليست كل اللابات من نفس الصنف ، إذ تختلف باختلاف تكوينها . فاللابات الحامضة تتكون من عناصر غليظة وهي خفيفة وغنية بالسيليس ، ولكونها بالغة اللزوجة ، فهي تبرد مباشرة بعد الثوران الذي يتم على شكل انفجار يرسل بخارا ومواد صلبة . أما اللابات القاعدية فهي داكنة وثقيلة ومفتقرة إلى السيليس . وحيث إنها أكثر سيلانا ، فهي أشد بطئا في التصلب . وتقذف اللابات القاعدية من البركان بكيفية هادئة وتنتشر على مساحات جد شاسعة .

وتتمثل المواد البركانية الفتاتية ، حسب مقاييسها ، في كل من الرماد وحصى البراكين والرمال والحجر الهش والقنابل البركانية ، وهي عبارة عن حمم نصف سائل في البداية يتصلب تدريجيا خلال اتصاله بالهواء الطلق ، وتضاف إلى هذه العناصر أحيانا كتل حجرية مفتعلة من المنافذ البركانية خلال الانفجارات العنيفة . وأثناء كل ثوران بركاني ، تنبعث غازات مختلفة التركيب الكيماوي يترتب عنها اليحموم أو دخان البراكين ، الذي يصدر عن الفوهة أو من الحمم نفسه . ويمكن أن يكون مختلف التركيب كذلك ، حيث يتكون من الكلورورات القلوية والحموض وبخار الماء .

ويمكن التساؤل حول مصدر المواد البركانية وعن أسباب ثورانها . وحسب أحدث الأبحاث المتخصصة ، فإن الصهارة تأتي من منطقة تقع بين القشرة الأرضية والجزء الأعلى من البرنس ( موهو ) الموجود على عمق يتراوح ما بين 30 و 100 كلم . وعند مثل هذا العمق تذيب الحرارة الصخور التي تبقى مع ذلك عجينية نظرا للضغط الذي يقع عليها . ومن المعتقد أن الصهارة تحتوي كذلك على كمية كبيرة من البخار والغازات وخاصة منها الأنهيدريد الكبريتي وثاني أوكسيد الكربون ، وهذان الغازان يحللان في الصهارة تحت وطأة الضغط الشديد الموجود في مثل تلك الأعماق . وعندما يتقلص الضغط كما هو الشأن عند حركات صخور القشرة ، فإن الصهارة تذوب وتميل إلى الصعود من خلال شقوق الصخور لأنها أصبحت بدورها أخف وزنا ، ولأن الغازات التي تشتمل عليها تنتشر بسرعة وتجرف كل ما يوجد في متناولها . وكلما تصاعدت الصهارة كلما بردت . وإذا حدث الثوران أثناء تبريد الصهارة ، وكانت اللابة ما تزال شديدة السيولة ، فإنه يتم بكيفية هادئة كما يلاحظ عند الصنف الهاوايانى . أما إذا كانت الصهارة باردة والحمم لزجا ، فإن مفعول الغازات يؤدي إلى انفجار عنيف في الصنف الفولكاني .



نماذج من الموادّ التي تقذفها البراكين .

الأرض ، وغير ذلك من الكوارث العديدة التي تزرع الخراب والدّمار والفناء وتبعث على الأسى والحسرة . وكل من سبق له أن شاهد عن قرب ثوران بركان ، فلن ينسى أبدا ذلك المنظر المهول الذي يتجلى فيه التناقض بين قوى الطبيعة وعجز الانسان ، وستبقى تلك الصور راسخة في ذهنه إلى الأبد . إلا أنه لابد كذلك من الأخذ بعين الاعتبار أن النشاط البركاني لا يعني فقط هذه الذروة من الكارثة القصيرة الأمد التي تمثل أقصى مظاهر النشاط البركاني ، بل يتعلق الأمر كذلك بظواهر أخرى أكثر تواضعا تصدر مباشرة أو بكيفية غير مباشرة عن القوى البركانية » ( أ . ريتمان ، « البراكين ونشاطها » ) .

وتنقسم الظواهر البركانية الطفيفة عادة إلى ما بعد البركانية والبركانية الثانوية والبركانية الزائفة .

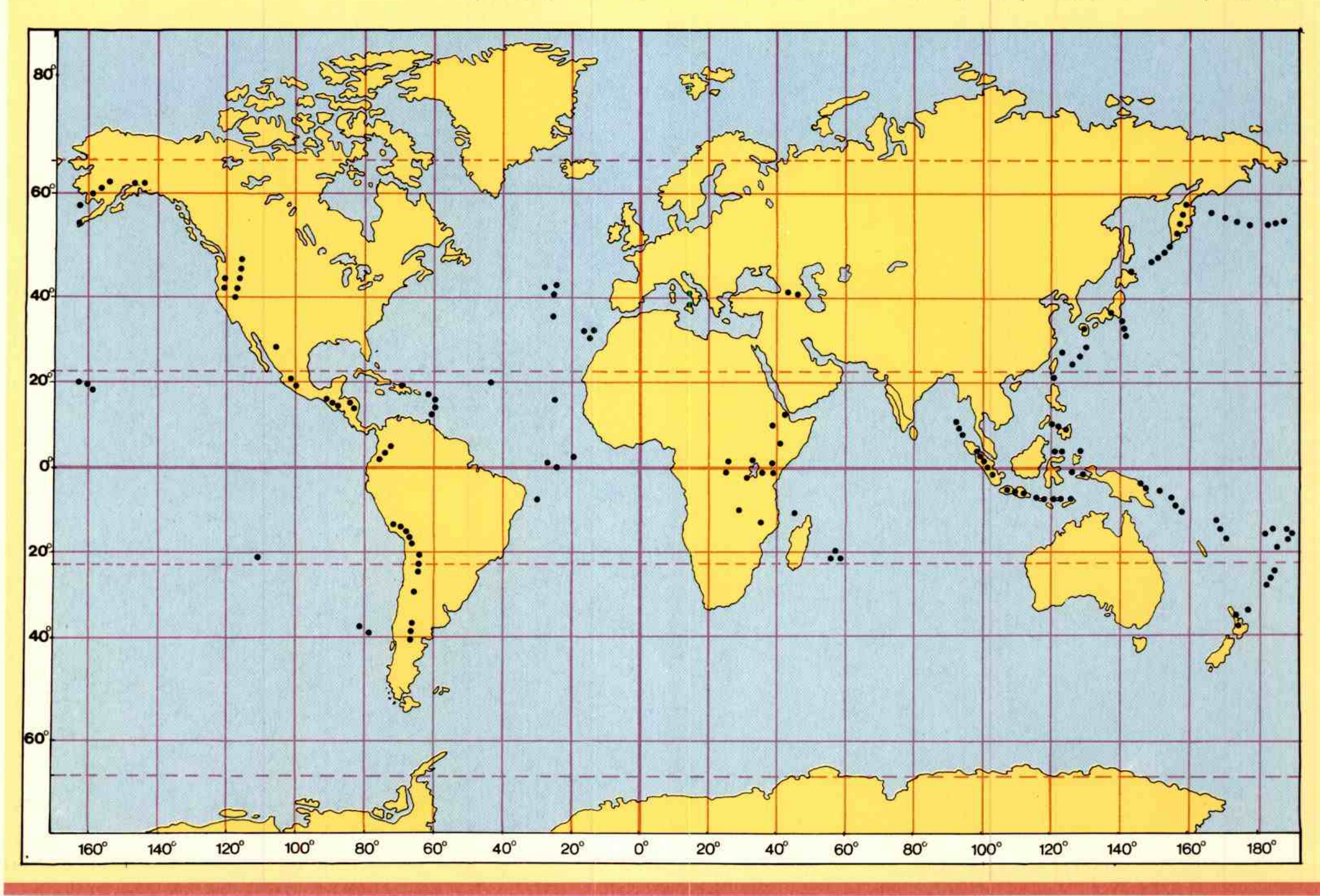
فالظواهر ما بعد البركانية هي التي تصدر عن بركان في فترة ثوران عنيف ، حيث يرسل في مرحلة استراحته مقذوفات غازية تشكل آخر مرحلة من النشاط البركاني . ومن هذه

**التوزيع الجغرافي للبراكين :**

من خلال المعطيات التقنية التي سبق ذكرها ، وخاصة منها ذوبان الصهارة من جراء انخفاض الضغط ، يتضح لنا بسهولة لماذا تتمركز البراكين في بعض المناطق الواقعة على الواجهات المحيطية وفي المناطق الواقعة على واجهات الأرخبيلات الحديثة النشأة . فهذه المناطق تتوفر على تقصفات وعلى مجالات انقطاع ولا تماسك ، وهي كذلك معرضة لحركات الارتصاص المستمرة .

وينتشر اليوم نصف عدد براكين العالم على طول سواحل المحيط الهادي وخاصة في كل من نيوزيلاندا والفيلبين واليابان وجزر هاواي والمكسيك والبيرو والاكواتور وبوليفيا وأمريكا الجنوبية إلى غاية أراضي القطب الجنوبي . وهي بذلك تشكل حزاما ناريا يطوق هذه السواحل . كما توجد مجموعات بركانية أخرى في كل من أرخبيل الآصور وجزر الكاناري وإيسلندا وتمثل الحزام الأطلسي ، وكذلك في كل من إيطاليا واليونان إلى غاية جزر لاسوند ، حيث تمثل الشريط المتوسطي . وهذه المناطق كلها هي نفسها المعرضة للظواهر الزلزالية المتواترة ، مع أن الدراسات لم تثبت بعد بكيفية قطعية وجود ارتباط مباشر ما بين هذه الظواهر البركانية والظواهر الزلزالية .

**لماذا توجد مناطق أكثر عرضة لمخاطر الأنشطة البركانية ؟**



الظواهر هناك **اليحموم** وهو بخار ماء مفتقر إلى أنهدريد الكاربون وتصل حرارته 100 درجة مئوية ، ثم هناك السلفتات الغنية بالكبريت ، ذلك أن البراكين الخامدة غالبا ما تكون عبارة عن مناجم كبريتية ، وهناك أيضا **الموفات** وهي فوحانات أنهدريد الكاربون المتفاوت الحرارة التي تزول مع خمود النشاط البركاني .

والينابيع الحرارية والحرارية المعدنية بدورها ترتبط بمرحلة خمود منطقة بركانية . وحسب المعادن التي تحتوي عليها ، فالمياه تنقسم إلى قلوية وكبريتية وحارة وكربونية ، وهي تستعمل في علاج العديد من الأمراض .

وتتمثل الظواهر البركانية الثانوية أساسا في **الفوارات الحارة** ( أو **الدفاقات** ) وفي **نافورات البخار** . فالفوارات الحارة عبارة عن انبجاسات متقطعة من الماء الشديد الحرارة والمشتمل على كمية كبيرة من السيليس الذي يودع حول الفوارات فيتشكل منه الجيزريت . وقد يصل ارتفاع الفوارة أحيانا إلى خمسين مترا ويظهر بكيفية منتظمة مع إمكانية تغيره ببضع دقائق أو عدة ساعات ، إلا أن آلية دورية الظاهرة في الواقع غاية في التعقيد . والفوارات الحارة هي عبارة عن ينابيع حارة تتصل بالسطح بواسطة قناة تشبه منفذ بركان . وفي الحوض الأسفل ، يكون الماء شديد الحرارة ولكنه لا يغلي نظرا لتعرضه لضغط الماء الموجود في قناة المخرج . وعلى عمق حوالي ثلاثة عشرة مترا يتقلص الفارق بين حرارة الغليان وحرارة الماء . ورغم ما يصل هناك من بخارات شديدة الحرارة متتسللة عبر الشقوق الجانبية ، فإن الماء يقذف نحو الأعلى حيث يكون الضغط منخفضا . ويمكّن انخفاض الضغط الماء من الغليان ثم الانبجاس خارج القناة ، وفور انتهاء الفوارة ، تعاد الدورة من جديد .

أما **نافورات البخار** فهي عبارة عن قذف عنيف لبخار الماء الذي تتراوح حرارته ما بين 100 و 190 درجة مئوية ويحتوي على كمية مهمة من الحمض البوروني . وهي تستعمل لاستخراج الحمض البوروني وللاستفادة مما تتوفر عليه من قوة محركة .

ومن بين الظواهر البركانية الزائفة ، نذكر **السلسات** ، وهي ينابيع من الميتان والنفط والوحل ، ثم ينابيع النار وهي ينابيع الميتان الذي يشتعل مباشرة باتصاله بالهواء ، وبراكين الوحل وهي ثوران بركاني من الوحل الطيني الغني بالنفط .

تعدّ النّافورات البخارية من الظّواهر البركانية الطّفيفة . وهي تتمثّل في انفجار بخار الماء الحارّ (من 110 د.م إلى 190 د.م) والذي يحتوي على حامض البوريق . في الصّورة نافورة بخارية عند خاصرة الايتنا .



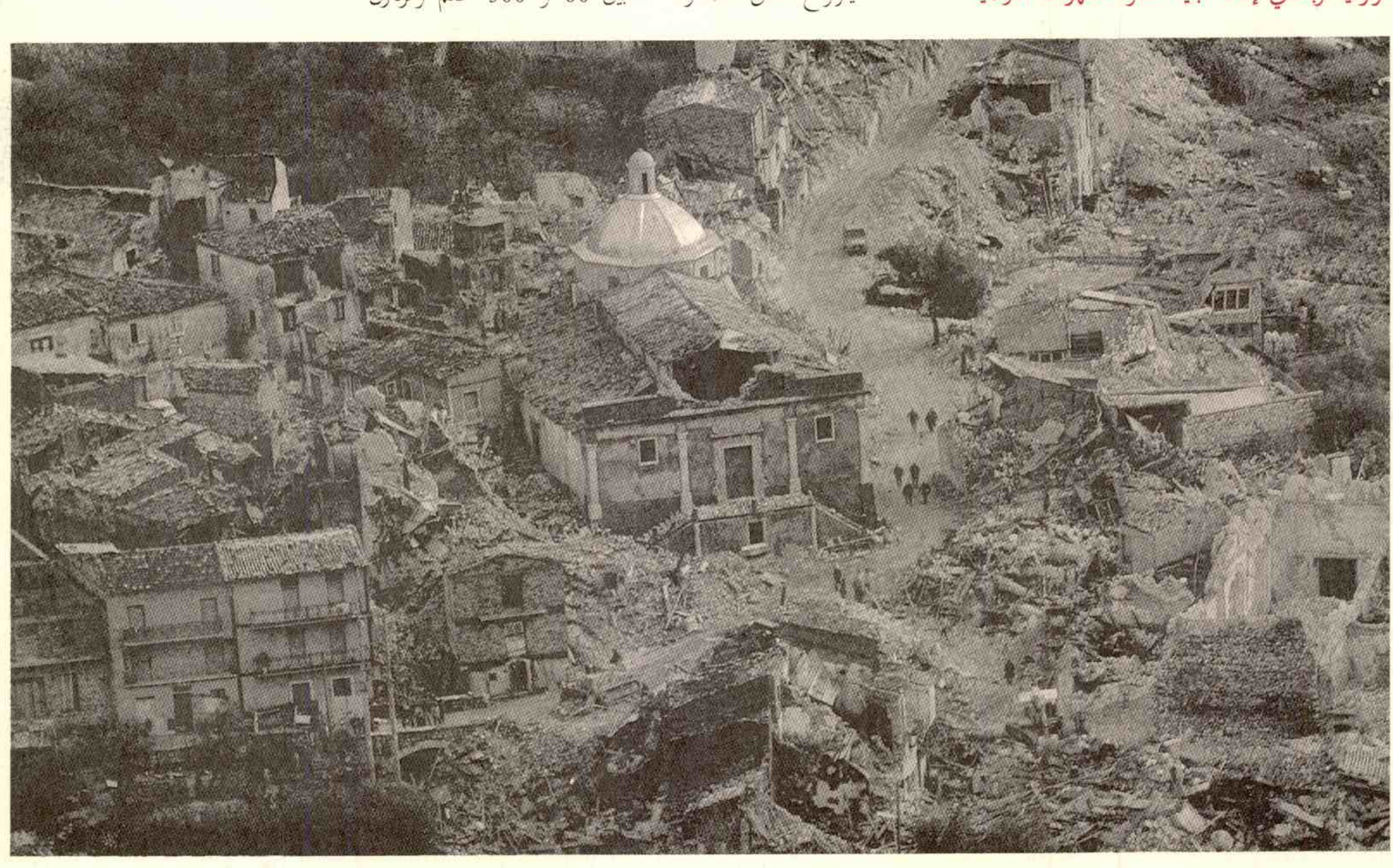
# الزلازل :

الزلازل عبارة عن اهتزازات وارتجاجات متفاوتة الشدة والعنف تتجلى على سطح الأرض ويكون مصدرها في باطن القشرة الأرضية حين يحدث بها اضطراب يخل بتوازن الكتل الصخرية .

والقشرة الأرضية هي غير مستقرة، وهي في حركة دائمة، وليست لا صقيلة ولا متجانسة ، ولكنها ذات ثنايا وانقصافات على شكل شقوق تصاحب انزلاق التربة ، تترتب عن ظواهر متعددة غير ذات أهمية كبرى ، تتم خلال فترة طويلة من الزمن . وتتضاعف إنثناءات الصخور وشقوقها بفعل قوى التوتر والضغط المتوازية ، التي تنتهي إلى تجاوز حد تصدع الصخور فتجعلها تنهار فجأة لتتشظّى على طول خط مقاومة دنيا . ويثير الانقصاف اهتزازات تنتشر في مختلف الجهات عبر المواد الصخرية وذلك في حركة تموجية فيصدر عنها زلزال أو اهتزاز أرضي . وبعد انتهاء الزلزال ، تعود الصخور إلى اتخاذ توازن جديد ثم تهدأ القشرة الأرضية . ويكون مفعول الزلزال على القشرة الأرضية مرهونا بالعمق الذي حصل في الانقصاف ، ذلك أن الاهتزاز يكون أشد كثافة كلما كان مركز الزلزال على مقربة من السطح ونحن لا نحس سوى بالزلازل السطحية التي لا يتجاوز عمق مصدرها 60 كلم ، بينما الزلازل المتوسطة التي يتراوح عمق مصدرها ما بين 60 و 300 كلم والزلازل

ماهي أسباب وقوع الزّلازل ؟

الصورة أسفله : منظر رهيب لآثار زلزال على البنايات القديمة . لقد أصبح بالمكان اليوم التعرّف على المناطق الزلزالية وبالتالي إقامة أبنية مقاومة للهزات الأرضية



## كيف ينتشر الزّلزال ؟

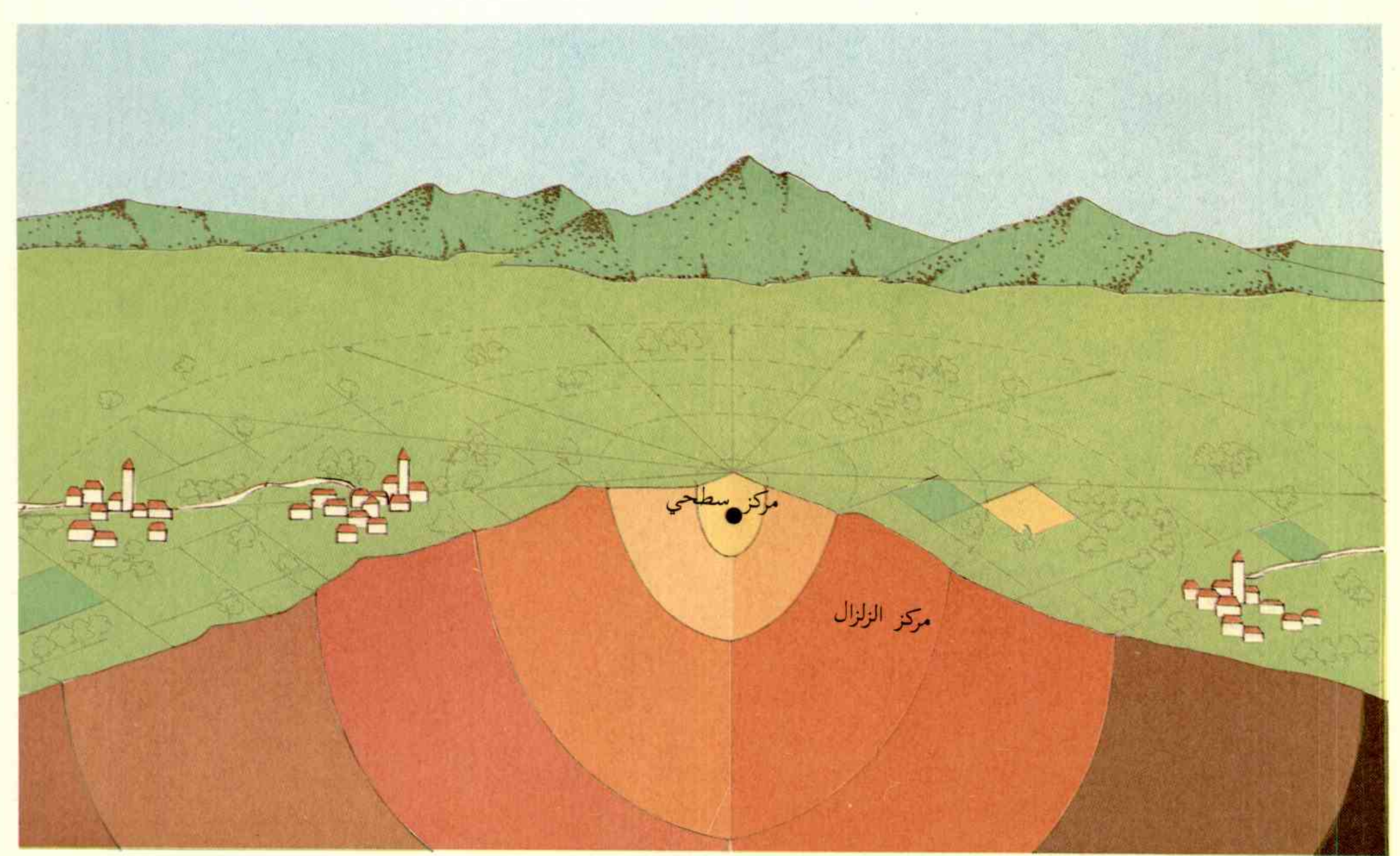
العميقة التي يقع مصدرها على عمق يتراوح ما بين 300 و 700 كلم وهو أقصى عمق يمكن أن يقع فيه مصدر زلزال ، فلا يحس الانسان بوقوعها رغم أن الآلات العلمية الخاصة ، تقوم بتسجيلها بدقة .

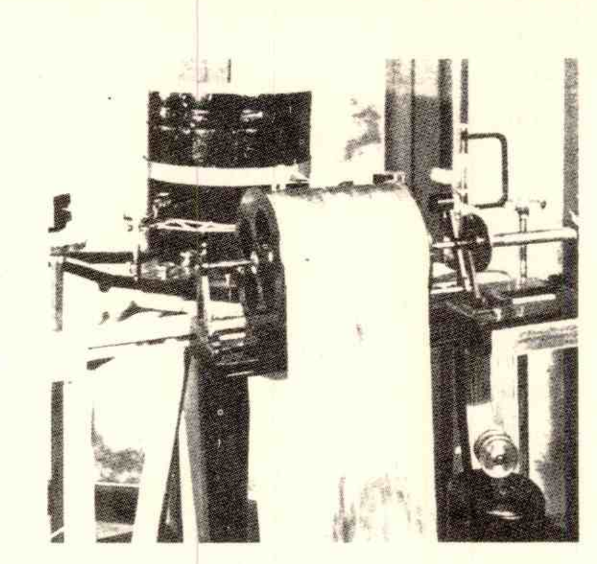
ولحد الآن ما زالت أسباب الزلازل لم تتضح كلها . ويظهر أن أغلب حالات الزلازل ، أي ما يعادل نسبة 90 % منها ، ترجع إلى أصل بنيوي الأديم ، أي أنها تترتب عن تحولات مفاجئة للكتل الصخرية الجوفية . أما الأسباب الأخرى فتتمثل في نشاط البراكين الانفجارية وتعرف بالزلازل البركانية وتمثل نسبة 7 % ، كما تتجلى في انهيار قبة أحد الكهوف على إثر سقوط وانزلاق الصخور الضخمة .

**الموجات الزلزالية وانتشارها :**

تعرف النقطة التي يحدث فيها الانقصاف وتنطلق منها الاهتزازات بمركز الزلزال ، وهو يقع في الغالب على عمق بضعة كيلمترات فقط . وتسمى النقطة المناسبة لمركز الزلزال في سطح الأرض المركز السطحي ، وهو المكان الذي تكون فيه الاهتزازات أكثر عنفا . وتنشأ الاهتزازات عند مركز الزلزال وتنتشر بعد ذلك في جميع الاتجاهات بسرعة تختلف حسب طبيعة وبنية الصخور التي تصادفها . إذ تكون مكثفة عندما تكون الصخور متماسكة كالغرانيتية والصوانية والبلورية ، في حين تكون أقل شدة عند صخور مندمجة أو شبه مندمجة . ويكون مفعولها في الحالة الأولى أخف ضررا وكارثة منه في الحالة الثانية . والموجات الزلزالية ثلاثة أنواع : فهناك الموجات الأولية أو الطولانية وهي ذات سرعة فائقة تتراوح ما بين 5 ،5 و 5 ،11 كلم في الثانية ، وتنتشر في اتجاه السطح على شكل دوائر متراكزة مثيرة انضغاط وتمدد الطبقات الصخرية التي تخترقها . أما الموجات الثانوية أو العرضانية فسرعتها أقل من الأولى حيث تتراوح ما بين 5 ،3 و 3 ،7 كلم في الثانية ، وهي تنتشر بكيفية عرضانية بالنسبة للموجات الطولانية وتثير اهتزازات وتعقفات في الطبقات الصخرية التي تجتازها ، وهي لا تخترق العناصر السائلة . وعندما يصل هذان النوعان من الموجات إلى

تمثيل مبسّط للموجات النّاشئة في باطن القشرة الأرضية خلال هزّة أرضية ، وهي ثلاثة أصناف : الموجات الطّولانية البالغة السّرعة والموجات العرضانية وهي أقلّ سرعة ولا تنتشر في العناصر السّائلة ثم الموجات السّطحية وهي نتائج التقاء الموجتين الطّولانية والعرضانية على السّطح .





جهاز حديث لقياس الموجات الزّلزاليّة .

السطح ينشأ عنهما نوع ثالث يعرف بالموجات الطويلة أو السطحية . وهي موجات تنشأ عند المركز السطحي ثم تنتشر بكيفية متوازية مع سطح الأرض الذي تطوف به مرات متعددة . وهي غاية في البطء حيث لا تتعدى سرعتها القصوى 4 كلم في الثانية ، وتصدر عنها حركات تموجية ذات مفعول تخريبي مهول .

ولا تستغرق الاهتزازات الزلزالية السطحية سوى بضع ثوان أقصاها أربعين ثانية ، وهي ذات تردد سريع ، وتتعاقب الواحدة تلو الأخرى مع بعض الفواصل الزمنية بينها . وحسب مكوناتها الأساسية فهي إما استبدالية ، وذلك شأن الموجات العرضانية والطولانية ، وإما تموجية مثل الموجات السطحية ، وقد تكون دورانية يثيرها ، بدون شك ، تنضيد الموجات المختلفة . أما موجات الكبس ، فعلى عكس الموجات الأخرى ، بإمكانها أن تستمر وتدوم مدة أسابيع أو شهور أحيانا .

وتتضاعف سرعة انتشار الموجات الزلزالية مع ازدياد عمق وكثافة الصخور . إلا أن هذه السرعة تتقلص في مناطق الانقطاع التي يظهر أن صخورها تكون جزئيا على حالتها السائلة . ولا يتبع إتجاه انتشار الموجات خطا مستقيما ، ولكنه يتعرض إلى سلسلة من التغيرات . فعندما تنتقل الموجات من طبقة صخرية إلى أخرى أكثر منها كثافة ، فهي تتعرض لظاهرة الانكسار ، بينما حين تتصل بمنطقة انقطاع ، فهي تتعرض للانعكاس الذي يحرف اتجاه مسيرتها نحو مركز الأرض ليوجهه نحو السطح . ولهذا السبب يمكن الاحساس بموجات الزلازل التي تقع على مسافة بعيدة من سطح الأرض .

## كيف يتمّ قياس الموجات الزّلزالية ؟

ويتم تسجيل الموجات الزلزالية بواسطة أجهزة خاصة تعرف بمسجلات الاهتزاز أو المرجافات وهي آليات بالغة الحساسية والدقة ، ولكنها تقوم على نظام غاية في البساطة . فهي تتكون من قاعدة مثبتة بإحكام في التربة ، ومن كتلة ذات مقاييس كبيرة تدعمها نوابض غليظة وتتوفر في جزئها الأسفل على إبرة تتصل بحلقة رافعة يوضع طرفها الأطول على مدرج من الورق . وعندما تبدأ الأرض في الاهتزاز تقوم النوابض بتخفيف الحركة مانعة الكتلة من التحرك ، بينما تشرع الرافعة الموضوعة على القاعدة في النوسان وتسجيل النبضات الاهتزازية على لفيفة الورق .

طبل دائر
بندول

المرجفات أو مُسجلات الاهتزاز الزّلزالي . الرسم جانبه يبيّن بكيفية مبسّطة طريقة عملها . وهي آلات بالغة الحساسية قادرة على تسجيل أدنى هزّة تحدث على مستوى القشرة الأرضية .

وتمكن دراسة سجل الاهتزاز من التمييز بين مختلف الاهتزازات والموجات وكذلك بين طولها وكثافتها واتجاهها وانتشارها وسرعتها . وكلها معطيات تسمح بالوقوف على مركز الزلزال . ويتم الحصول على مدى الابتعاد من المركز السطحي انطلاقا من فارق الزمن بين وصول الموجات الأولية والموجات الثانوية . وبمقارنة المسافة المحصل عليها في ثلاث محطات للدراسات الزلزالية على الأقل ، ثم برسم ثلاث دوائر تكون مراكزها على خريطة جغرافية في تلك المحطات، ويكون شعاعها هو المسافة، يتم الحصول على نقطة تتقاطع عندها الدوائر الثلاث وهي النقطة التي تمثل المركز السطحي للزلزال .

في سنة 1985 تعرضت عاصمة المكسيك إلى زلزال عنيف دمّر جزءا مهما من بناياتها




**المناطق الزلزالية :**

**تحدث الزلازل أساسا في المناطق الجيولوجية الحديثة، حيث ما تزال السلاسل الجبلية فتية وفي طور التشكيل أو في الأماكن التي تعرف القشرة الأرضية حركات مهمة . ويمكن تقسيم الأرض من حيث النشاط الزلزالي إلى : مناطق غير زلزالية مثل إيرلندا وروسيا وسيبيريا، ومناطق زلزالية**

**مقاييس الزلازل :**

تظهر الموجات الزلزالية عند سطح الأرض على شكل اهتزازات تسبب أضرارا وخسائر متفاوتة الخطورة حسب قوتها في المركز السطحي . وحين نجمع بين النقط التي عرفت اهتزازاتها نفس الكثافة ، فإننا نحصل على خطوط الزلازل . وتعرف المنطقة الموجودة داخل خط الزلزال الأقوى بالمنطقة الزلزالية المركزية ، وهي في الغالب المنطقة التي يخلف فيها الزلزال أفدح الأضرار .

ويمكن للزلزال أن يحدث في أعماق البحار حيث يثير هناك تلاطم الأمواج . وتنشأ عن الاهتزازات التحمائية أمواج هائلة يصل علوها أحيانا ثلاثين مترا ، تتدفق على طول الشواطىء والمراكز الحضارية محدثة كوارث وأضرار بالغة الخطورة . فخلال زلزال ميسين الواقع سنة 1908 ، هاج البحر وخرب كل بنايات الشاطىء وأودى بحياة أزيد من مائة ألف شخص .

ومن المقاييس المستعملة لقياس شدة الزلازل ، هناك سلم وودنيومان وسلم ميركالي المعدل الذي يحتوي إثني عشر درجة ، وهو يعتمد في ذلك على مدى ما يخلفه الزلزال من آثار على سطح الكرة الأرضية . وهي كالتالي :

الدرجة الأولى : لا يدرك الزلازل إلا بواسطة الأجهزة الخاصة لقياس الاهتزازات ، ومن طرف بعض الأفراد القلائل فقط .

الدرجة الثانية : يدرك الزلزال عند أعلى العمارات الشامخة ومن قبل أشخاص ممددين أو ذوي حساسية حادة .

الدرجة الثالثة : يدرك الزلزال داخل البيوت رغم عدم إحساس الأشخاص الموجودين بها أحيانا باهتزاز أو بزلزال .

الدرجة الرابعة : يدرك الزلزال بالدخل أكثر منه في الخارج ، إذ تهتز الأبواب والنوافذ والأواني وتتراقص الأشياء المعلقة .

الدرجة الخامسة : الجميع يفطن إلى وقوع الزلزال ، وإذا حدث أثناء الليل فإنه يوقظ أغلب الناس ، وهو يسقط الأشياء ويشق الجدران .

الدرجة السادسة : يدرك وقوع الزلزال ، وتكون أضراره طفيفة ، فالأشياء تتساقط والأجراس تدق والأثاث الثقيل يتحول من مكانه :

الدرجة السابعة : يثير الزلزال الروع والهلع في النفوس ، ويغادر الناس بيوتهم ، وتتصدع البنايات القديمة بشكل خطير ، وتتكون في البحيرات والمستنقعات أمواج كثيرة . ويحس السائق بالاهتزاز وهو داخل سيارته .

الدرجة الثامنة : باستثناء البنايات المضادة للزلزال ، فكل البنايات الأخرى تصاب بأضرار بالغة حيث تنهار المداخن والمآذن العالية ،

ضعيفة مثل سكاندينافيا والصين ومدغشقر ثم مناطق زلزالية قوية، ومنها المناطق الهامشية للمحيط الهادي كنيوزيلاندا واليابان والجزر الأليوتينية وأمريكا الوسطى والبيرو والشيلي والمناطق المخترقة للهيمالايا إنطلاقا من الهادي إلى أقصى حدود البحر المتوسط ، وكذلك الشريط الأوسط من المحيط الأطلسي .

وتعتبر كل من اليابان والشيلي ونيوزلندا من المناطق التي تكثر بها الزلازل كل سنة . إلا أن الرقم القياسي في الزلازل المهولة وذات الكوارث المفجعة سجل في كل من اليونان حيث تعرف 565 هزة أرضية خطيرة في القرن الواحد وإيطاليا بـ 238 زلزالا . ويعد زلزال إيربينيا بجنوب إيطاليا الواقع سنة 1980 آخر هزة في سلسلة طويلة من الظواهر

وتصبح قيادة السيارة صعبة وغاية في الخطورة .

الدرجة التاسعة : تنهار البنايات العالية كلها وتصاب المضادة منها للزلازل بأضرار فادحة . وتظهر على سطح الأرض شقوق عميقة واسعة وتحطم القنوات والأنابيب التحأرضية ، إلا أن عدد الضحايا يكون ضئيلا .

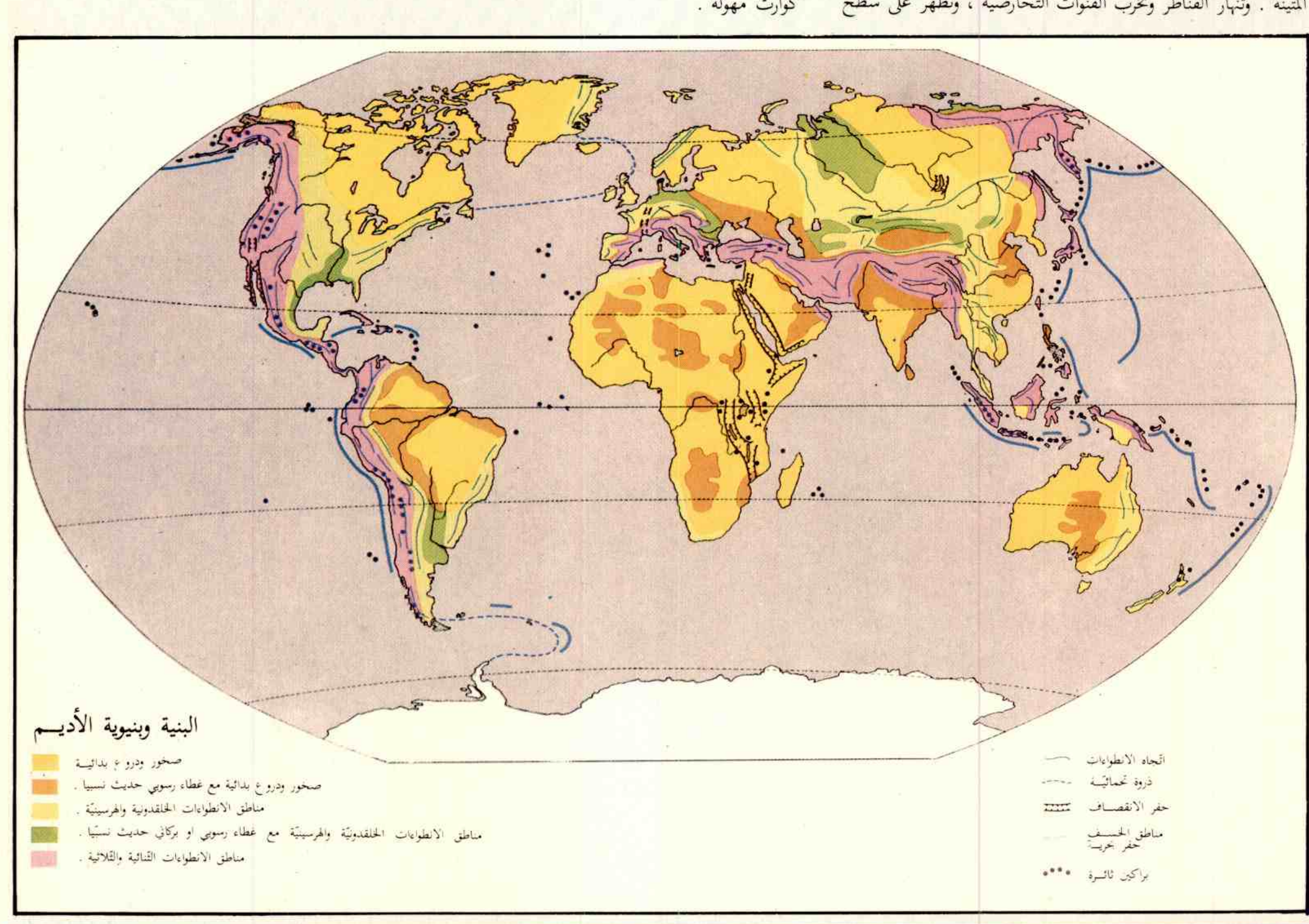
الدرجة العاشرة : تتهدم البنايات كلها وتنشق الأرض وتحدث انزلاقات التربة ، وتصاب السكك الحديدية بالخلل والانحراف ويتضاعف عدد الضحايا .

الدرجة الحادية عشر : لا يسلم من الخراب سوى بعض البنايات المتينة . وتنهار القناطر وتخرب القنوات التحأرضية ، وتظهر على سطح الأرض شقوق مهولة ، كما تكثر انزلاقات التربة واقتلاع السكك الحديدية .

الدرجة الثانية عشرة : يكون الخراب شاملا ، وتتقاذف الأشياء في الفضاء ، ويكون عدد الضحايا مرتفعا جدا .

أما سلم ريشتر أو سلّم القدر ، فيقوم بقياس الزلزال حسب الطاقة التي يرسلها ، وتتراوح مقاييس هذا السلم ما بين صفر و 8،5 درجة . وتمثل كل درجة من هذا السلم كمية طاقية تفوق كمية التقسيم السابق بثلاثين مرة . فإلى غاية القدر الثالث ، لا يكاد أحد يدرك حدوث الزلزال ، أما عند القدر السابع فإن الزلازل تؤدي إلى كوارث مهولة .

## كيف يتمّ قياس قوة الزّلازل ؟



الزلزالية الخطيرة ، وقد خلف 4.000 قتيلا ، وأدى إلى خراب العديد من المراكز الحضرية . كما أصيبت عاصمة المكسيك في شهر شتنبر من سنة 1985 بهزتين عنيفتين دمَّرتا عددا كبيرا من العمارات وأودتا بحياة آلاف الضحايا.

ولحد الآن ما زال من المستحيل التنبؤ بكيفية دقيقة سبب وقوع الزلازل ، لأن تعاقب الهزات غير منتظم والدراسات العلمية في هذا الميدان لم تتقدم بعد . ويكتفي العلماء بمراقبة مستمرة للهزات «المنذرة» التي تبث أنها قد تسبق الزلازل العنيفة بسنوات عديدة . وهكذا فمع استحالة توقع الزلازل ، فمن الممكن اتخاذ التدابير اللازمة والاحتياطات الضرورية للحد من الأضرار الفادحة التي قد تلحق بالبنايات والمراكز الحضارية ، كإخلاء المناطق الأكثر خطورة،وعدم إنشاء البنايات في الأراضي الهشة،حيث تكون الهزات قوية . ثم إقامة بنايات ملائمة للمناطق الزلزالية .

منظر مأساوي لكارثة زلزالية بصقلية .




عالم المياه

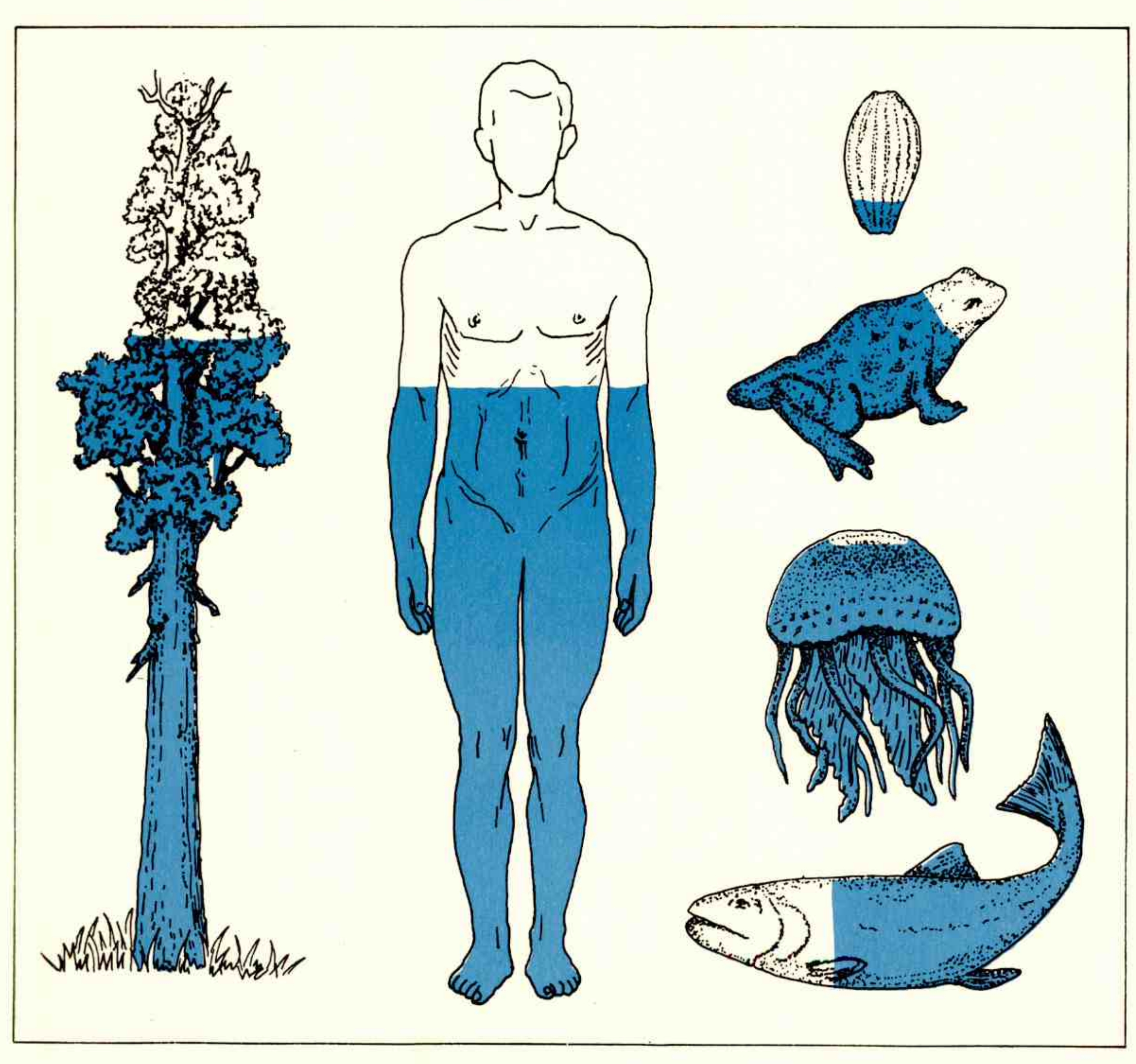
لو أراد المرء تحديد تعريف كوكبنا بدقة لاختار له عوض كلمة « أرض » كلمة « ماء » أو « محيط » ، ذلك لأن ما يزيد عن 70 % من سطحه مغمور بمياه المحيطات كالهادي والهندي والأطلسي ، وهي تتصل بعضها ببعض مشكّلة بذلك مساحة مائية تطوّق الأراضي الطافية .

ويكاد العلماء يجزمون بأن الأرض هي الكوكب الوحيد في النظام الشمسي الذي يتوفر على مثل هذه الكمية الهائلة من الماء . وحسب ما توصل إليه العلماء حاليا فإن الماء لا يشكّل في الكواكب الأخرى سوى كميات محدودة جدا إن لم يكن منعدما بها . وربما يكون ذلك هو ما يفسّر غياب أشكال الحياة فوق تلك الكواكب . ومن البديهي أن الماء يلعب دورا أساسيا في حياة جميع الأجسام الحية . فالأشكال الحياتية الأولى في كوكبنا قد تطورت وسط البحار ، وثلث جسم الانسان من الماء إضافة إلى ارتباط بعض وظائفه ، كالتنفس والهضم، والدورة الدموية بمحلولات ماوية . وقد مثلت البحار والبحيرات والانهار منذ عصور ما قبل التاريخ موارد قوتية ومعاشية بالنسبة للانسان وخاصة في مجال الصيد . وفي المناطق الجافة تعتبر الواحات المركز الوحيد للحياة بفضل الماء الذي يمكّن من غرس الأشجار ، وسقي الحقول ، وتربية المواشي . كما أن البحر بمخزوناته القوتية والمعدنية والطاقية يشكل مصدر الآمال المستقبلية بالنسبة للانسانية جمعاء .

ومما لا شك فيه أن الماء هو مصدر الحياة ولابد من توفره لكي تزدهر الطبيعة وينتعش الانسان والحيوان . فجميع مشاكل الجفاف والمجاعة التي تعرفها بعض البلدان مرهونة بنقصان الماء أو بانعدامه . وهناك في الوقت الراهن عدة منشآت لتحلية مياه البحار وجعلها صالحة للاستعمال وخاصة في البلدان التي تشكو من نقص في رصيدها من المياه الصالحة للشرب .

---

**إن الماء كما هو معلوم ، أساسي للحياة وهو يمثّل 70 % من سطح الأرض وثلثي جسمنا ونسبا هامة في أجسام باقي الكائنات الحيّة . الرسم أسفله يبيّن بعض الأمثلة ومنها شجرة وإنسان وحبّة وضفدع ومدوس وسمكة .**



# البحر

**الخصائص الكميائية والفزيائية لمياه البحر :**

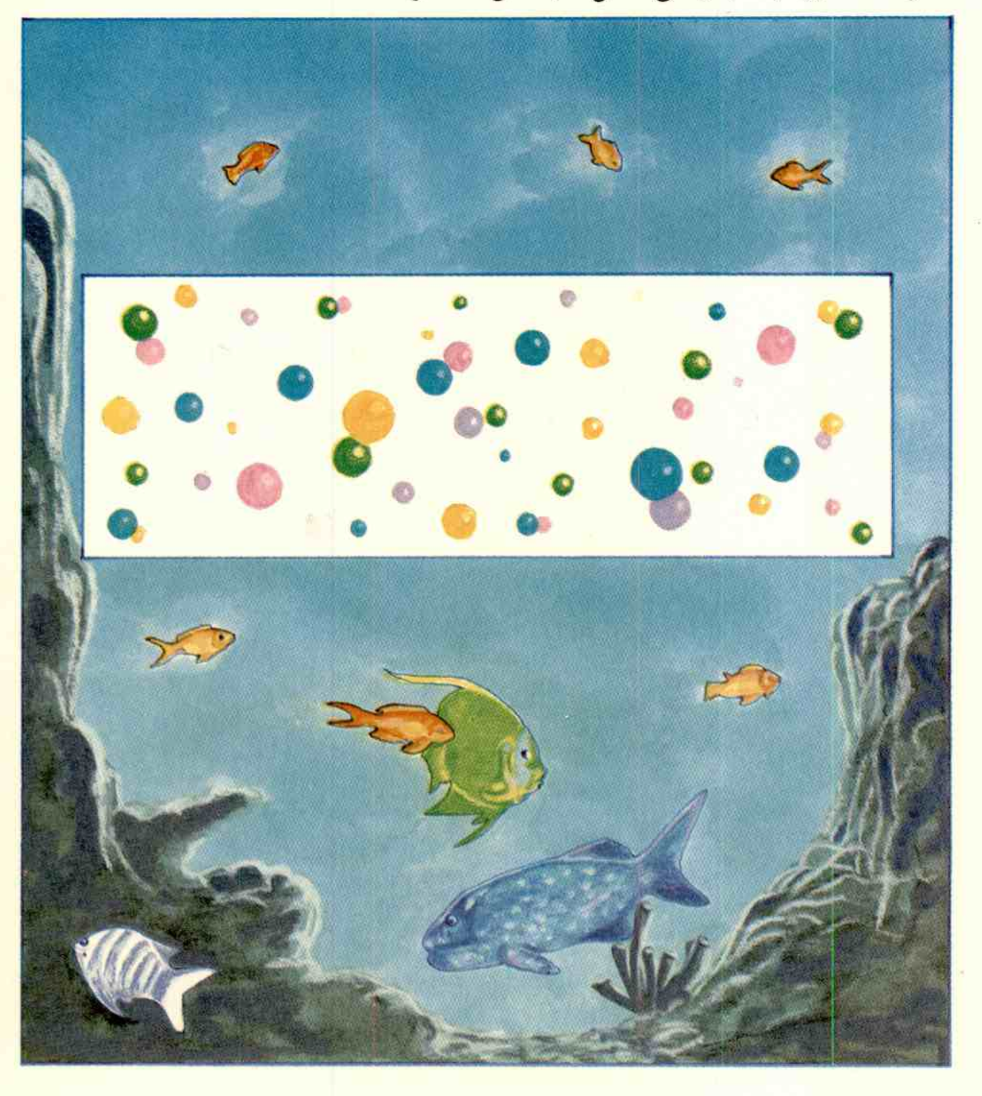
تغطي المياه البحرية نسبة 70%من مساحة الكرة الأرضية ، أي ما يعادل 361 مليون كيلمتر مربع ، وهي تشكل بذلك كتلة يبلغ حجمها حوالي 1330 مليون كيلمتر مربع تتمثل في المحيطات والبحار المتصلة فيما بينها . وحسب قانون الأوعية المستطرقة ، فإن مستوى مياه البحار قد يبقى دائما قارا في جميع نقط الكرة الأرضيّة ، إلا أن ظواهر متعددة تجعل هذا المستوى يتغير من بحر إلى آخر ومن مكان إلى آخر . ومن هذه الظواهر دوران الأرض وتغيرات الضغط الجوي وذوبان الثلوج وكميات المياه التي تصبها الأنهار في البحار ، ولكنها ظواهر تزيد من مستوى المياه البحرية ، ففي قياس الارتفاعات ( أو المرفاعية ) يتم الرجوع إلى المعدل المتوسط لمستوى البحار الذي يُعرف بنقطة الصفر وهي قيمة الحد الأدنى والحد الأقصى . ويحصل عليه على إثر سلسلة طويلة من الملاحظات اليومية خلال عشرين سنة على الأقل . ومع مرور الزمن ، تعرّض مستوى مياه البحر إلى تغيرات مهمة . فمثلا خلال العهد الرابع ، كانت المجلدات الضخمة قد امتصت كمية هائلة من مياه البحر ، مما نتج عنه انخفاض في مستواها قبل أن يرتفع من جديد فيما بعد عندما ذابت تلك المجلدات وتقهقرت .

**تركيب مياه البحر :**

كلنا يعرف أن مياه البحر شديدة الملوحة ، وذلك راجع لاحتوائها لعدة أملاح مذابة،وأهمها كلرور الصديوم،وكلورور المنغسيوم،وسلفات المنغنيسوم،وسلفات الكلسيوم،وسلفات البوطاسيوم،وبكربونات الكلسيوم . وإلى جانب هذه الأملاح تحتوي المياه البحرية على محلول مواد غازية ضرورية لحياة الأجسام وذلك بكميات متفاوتة ، ومنها الأزوت ( 33 % ) والأوكسيجين ( 66 % ) وأنهدريد الكاربون ( 1 % ) . كما يشتمل ماء البحر على مواد أخرى منها الايرودوات، والبرومورات،والفولورورات وأملاح كل من الرصاص والحديد والفضة والذهب . وتجدر الاشارة إلى أن كمية الذهب المتواجدة في البحار تفوق بكثير الكمية الموجودة في اليابسة . ولو أمكن استخراج هذه الثروة الذهبية من الكتل المحيطية لتوفر كل فرد من سكان الأرض على سبيكة ذهبية وزنها 64 طنا .

وهكذا تظهر مياه البحر على شكل خليط من العناصر

**ماسرّ ملوحة البَحْـر ؟**



تحتوي مياه البحر على العديد من الأملاح المذابة تجعلها شديدة الملوحة . في الرّسم أسفله محاولة لتبسيط مكوّنات هذه المياه : فالكرات الصّغيرة البيضاء تمثّل الأوكسيجين والصّفراء الكبريت والبنفسجية الأزوت والزرقاء الكربون والحمراء البرومين والخضراء الفلور .

**لماذا تعتبر بعض الأحواض بحارا ؟**

الكيماوية الطبيعية التي تزيد عن خمسين من 93 عنصرا الموجودة ، وأغلبها غير مكمّم .

وملوحة مياه البحر ذات قيمة متوسطة تصل 35 % ، ذلك أن لترا واحدا منها يحتوي على 35 غراما من الملح أو كلورور الصديوم . وبالنظر إلى الوفرة الهائلة من المياه ، فإن البحار لو تبخرت كلها لغطّت الأملاح الأرض إلى علو يزيد عن 60 سم . ويتغير مقدار الملح من بحر إلى آخر حسب كمية المياه العذبة التي تصب فيه . ودرجة التبخّر والتّساقطات الجوّية وتواجد التّيارات العمقيّة أو السّطحية . ويرتفع هذا المقدار عند مستوى المدارات (37 %) لأن التبخّر هناك شديد والأمطار نادرة ، بينما يضعف هذا المقدار قرب مصب الأنهار الكبرى وفي المناطق القطبية المغطات بالجليد لأن البحر في هذه الأماكن يستقبل **كميات هائلة من المياه العذبة**

وفي بعض المناطق يمكن للملوحة أن تصل مقادير قصوى أو دونيّة . ففي بعض بحيرات آسيا الصغرى تصل إلى معدّلات تفوق 300 %، وبسبب كثافة التبخر وحصة المياه المالحة لنهر الأردن ، فإن البحر الميت يحتوي على نسبة 270 %من الملوحة . وفي بحر البلطيق لا تتعدى الملوحة نسبة 7،0 % نظرا للحصّة الوافرة من المياه العذبة . وإلى حد الآن،لم يتمكن أحد من تفسير أصل هذه الملوحة وأسبابها . فالبعض يرى أن أملاح القشرة الأرضية انتقلت خلال القرون الماضية إلى المياه البحرية ، بينما يرى البعض الآخر، أن المياه الأولى قد أسقطت في الجوّ أملاح الغلاف الجوي البدائي ، وهناك بعض العلماء الذين يعلّلون ملوحة البحار بانفجارات بركانية أفرزت موادّها المالحة هناك .

**الكثافة والحرارة :**

يبلغ معدّل كثافة مياه البحر 1،028أي أن لترا من الماء يزن 1028 غراما . وترجع هذه الكثافة إلى وجود الأملاح . وهي تجعل درجة تجمد هذه المياه تنخفض إلى درجتين مئويتين تحت الصفر . كما ترتفع درجة الغليان .

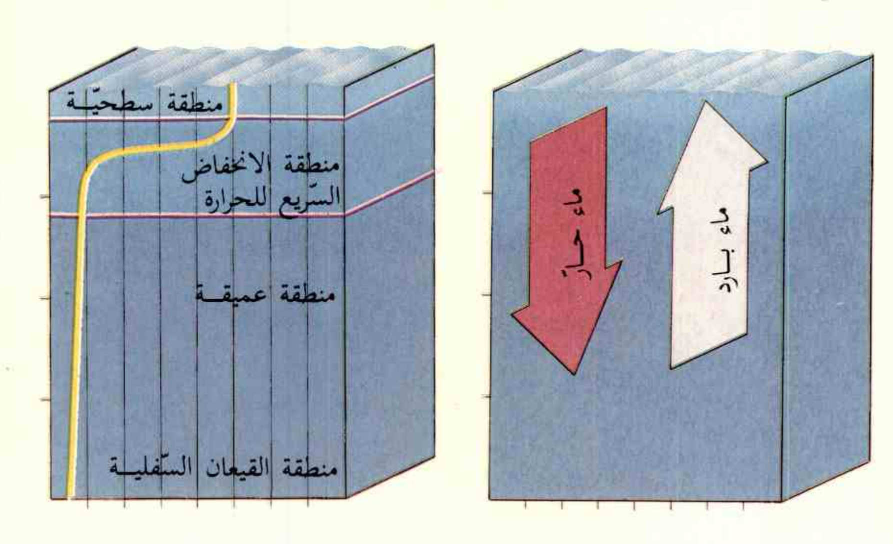
ويعتبر البحر كذلك مخزنا هائلا للحرارة ، فحين يسخن ببطء ، يجمع كمية هامة من الحرارة التي يطلقها فيما بعد ببطء كذلك . وعند تسخين ماء البحر السّطحي يصبح أكثر كثافة بفعل التّبخر ، ويميل إلى التوجّه نحو الأسفل حاملا معه جزءا من حرارته . والماء الأكثر برودة والأقل كثافة يصعد نحو السّطح حيث يسخن قبل أن يهبط من جديد مثيرا بذلك حركة عمودية . وفي كتلة الماء تتعرض الحرارة عند السّطح إلى تغيّرات مرهونة بالارتفاع وبتغيّرات الحرارة الفصْلية وبمفعول الرياح والتيارات . فمن خطّ الاستواء إلى القطبين تتراوح هذه الحرارة من معدل أقصى يصل 30 درجة مئوية إلى معدل أدنى يصل درجتين مئويتين تحت الصفر . إلا أن هناك نقطا تتجاوز حرارتها 32 درجة مئوية في خليج المكسيك و 45 درجة مئوية في ماساوا .

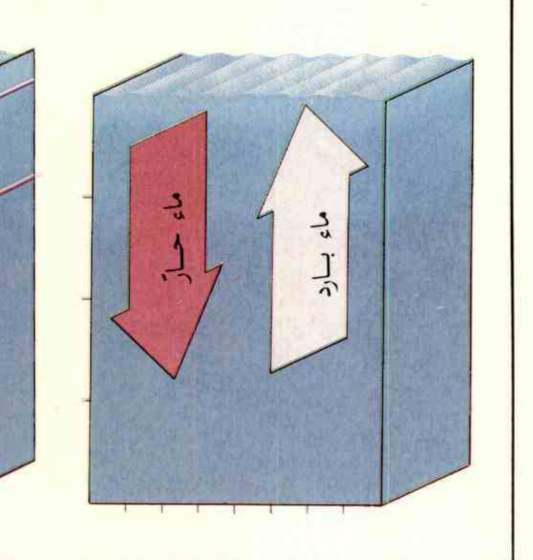
وبالمقابل ، فإن الحرارة تنخفض بالارتباط مع العمق . ففي الطبقات السطحية يكون هذا الانخفاض سريعا لكنه يتباطأ ما بين200و100متر من العمق . وفي الطبقات الأكثر عمقا تبقى الحرارة مستقرة عند معدل يتراوح ما بين صفر ودرجتين مئويتين . ويرجع هذا الاستقرار الحراري إلى كون المحيطات متصلة ومستطرقة ومياه الأعماق غير خاضعة للتغيرات الحرارية الخارجية . وفي هذا المجال يشكّل البحر الأبيض المتوسط حالة استثنائية لأن مياهه نظرا لقلة عمقها تكون أكثر حرارة من مياه المحيط ذات العمق المتساوي ، فمعدل حرارته يصل إلى 13 درجة مئوية . ويرجع ذلك إلى التضاريس الموجودة في أعماق حوض البحر الأبيض المتوسط إلى غاية عمق 300 متر حيث مضيق جبل

إن حرارة البحار غاية في التنوّع : ففي خطّ الاستواء تصل 30 درجة مئوية بينما في القطبين يمكن تسجيل درجتين مئويتين تحت الصفر : الصورة جانبه تبيّن منظرا نموذجيا للقطبين يتمثّل في الطوف الجليديّ أو الجليد السّاحلي ، حيث الماء السّطحي متجمد وحيث تتكوّن الجبال الجليدية والميادين الجليدية .

طارق . وهذه التضاريس تحول دون اتصال المياه المتوسطية بالكتل الأطلسية وبالتالي دون التساوي الحراري .

وفي المناطق المرتفعة والباردة تحدث سيرورة حرارية معاكسة : فقرب السطح تنخفض الحرارة شيئا ما ثم ترتفع قبل أن تنخفض ثانية ببطء شديد . وفي المناطق القطبية تجمد المياه السطحية باستمرار . ففي المرحلة الأولى تتكون بلورات جليدية يصل طولها أحيانا 40 سم ، وفي مرحلة ثانية تتجمع هذه البلورات تدريجيا لتشكل ميادين جليدية تدفعها الرياح والتيارات لتتجه نحو أعالي البحار حيث تتكسر وتكوّن أطوافا جليدية . وكلما انخفضت الحرارة كلما ازداد سمك الطبقة الجليدية . فكتل الجليد تلتحم بعضها ببعض فيتكوّن منها الطوف الجليدي أو الجليد الساحلي الذي يصل سمكه أحيانا ثلاثة أمتار .






الرسم الخطّي الأيسر يبيّن درجة حرارة البحار من السّطح إلى القعر . الرسم الأيمن يبين التّبادل الحراري في المياه البحرية . فالسّهم الأحمر يمثّل الماء الحارّ الهابط بينما يمثّل السّهم الأبيض الماء البارد الصّاعد .

وفي المرحلة المتجمدة ، تنفصل الأملاح عن الماء ويصبح الجليد المتكوّن أخفّ من الماء فيطفو فوقه ، وهذا الامتداد الجليدي يمنع البرد الخارجي من الوصول إلى المياه التحتية والتي بدون هذا الطوف تتجمد بدورها لتبيد كل أشكال الحياة داخل الماء .

**اللون والشفافية :**

عند معاينة البحر يتبين لنا أن لونه غير متسق بل يتضمن فوارق ما بين الأخضر والأزرق الداكن . وهذا التلون مرهون بدرجة امتصاص الاشعاعات الشمسية الزرقاء والحمراء والصفراء . وهناك ظواهر أخرى تؤثر كذلك على لون البحر وهي حالة السماء وعمق المياه ودرجات الحرارة والرياح وكميات العلق وغيرها .

وفي عرض البحر ، غالبا ما يكون لون البحر داكنا بسبب انعدام العلق ، بينما يكون مخضرا قرب السّواحل لنفس السبب . والبحر الأصفر يستمد لونه من الوحل الأصفر القادم من الجبال الصينية والمحمول عبر النهر الأصفر ، أما البحر الأسود فيرجع لونه الدّاكن إلى ترسبات من الوحل الداكن . ويسمى البحر الأحمر كذلك نظرا لاشتماله على طحالب محمرّة . وإلى غاية عمق يتراوح ما بين 20 و 50 متر ، يكون ماء البحر شفّافا حيث بالامكان مشاهدة القعر وما به من عجائب وكائنات تعيش في الأعماق .

وتتعرض إشعاعات الطيف الشمسي الحمراء للامتصاص السّريع حيث تنقل إلى عمق يصل حوالي 200م وهو الحدّ الذي يكون فيه التركيب اليخضوري ممكنا يسهُل معه ظهور النباتات البحرية . أما الاشعاعات الزرقاء والبنفسجية ، ذات الموجات القصيرة ، فتصل إلى أعماق بعيدة تبلغ أحيانا 200م لأنها قليلة الامتصاص .

ويتكون علق البحر من الأجسام الحيّة ، الحيوانية والنّباتية ، ولذلك فهو في حاجة إلى الضوء لكي يعيش وهو لذلك لا يعيش إلا في الطبقات السطحية ولذلك فإن تلوث المياه البحرية غالبا ما يفتك بالعديد من الأصناف البحرية المقتاتة بهذا العلق .



إن لون وشفافية مياه البحر مرهونان بعدّة عوامل ، وإلى غاية عمق يتراوح مابين 20 و 50 مترا ، فالماء يبقى شفّافا إلى درجة أنّه بالامكان مشاهدة القعر كما يظهر في الصّورة جانبه .

لماذا لا تستحيل الحياة العضوية في القطبين رغم وجود الجليد ؟

كيف يتمّ قياس عمق البحار ؟

**قيعان البحار :**

في قعر البحر ، ترسب فضلات وحتات وبقايا عناصر متنوعة ، حيث تكوّن هناك طبقة رسوبية يبلغ سمكها أحيانا 1500 مترا . والفضلات اللاعضوية هي التي تنقلها الأنهار والرياح أو التي تقتلعها الأمواج من الشواطىء . وحسب حجمها ، فهي ترسب على طول الشواطىء على شكل رمال أو تنقلها التيّارات إلى عرض البحر . أما الفضلات العضوية فهي من أصل بحري وتتمثّل في بقايا الأجسام المجهرية من أوّليات وطحالب علقية ، تعيش في الطبقات السطحية للبحار .

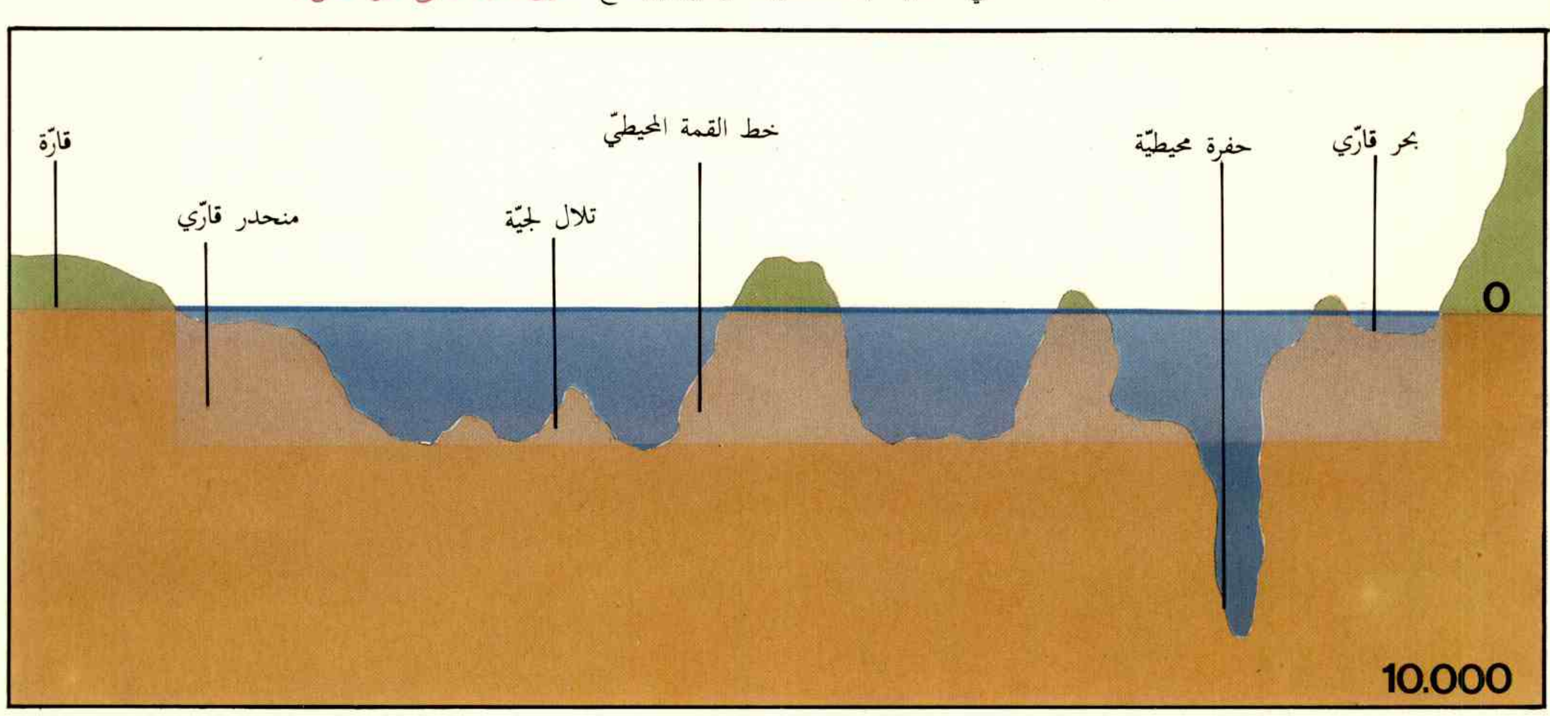
وقيعان البحار ليست بمسطحة ولا متقسمة ، ولكنّها تظهر على شكل تضاريس وسهول ومنخفضات وحفر محيطية ، على غرار الأراضي الطّافية . غير أنه بسبب الترسّبات بقيت هذه التشكّلات دون تناقض بارز أو خشونة واضحة كما هو الشأن بالنّسبة لليابسة المعرضة لتأثير المياه والعوامل الجوية . وقد توصل العلماء بفضل السّابرات الرَّجعية إلى رسم خرائط مفصلة لقيعان المحيطات ، وقياس أقصى أعماقها . والسّابرات ذات الرجع هي آلات بالغة الحسّاسية بحيث تمكن من إدراك أدنى حاجز أو مرور سرب من الأسماك تحت الباخرة . وهي تعمل بالأصوات الفوقية المنعكسة على شكل أصداء تعود إلى الجهاز الذي يعمل كذلك كملتقط . وبمعرفة الفاصل الزمني بين إرسال الموجات الفوق الصّوتية وبين الصدى ثم سرعة الصّوت وسط الماء (1500م/ ثانية) ، يمكن بسهولة تحديد المسافة التي قطعتها الموجة الصوتية للوصول إلى قاع البحر ، وبالتالي قياس مدى عمق المياه هناك .

وفيما يلي بعض الملاحظات السّريعة بشأن المحيطات الثلاثة وهي المحيط الهادي والمحيط الأطلسي والمحيط الهندي .

فالمحيط الهادي هو أكبر المحيطات حيث تبلغ مساحته 180 مليون كلم$^2$. وهو مستقيم في جزئه الشرقي وقليل الازدحام بالجزر التي تبقى متجمعة في أقصى الشواطىء . أما طرفه الغربي فهو كثير التمفصل ، حيث تكثر به أشباه الجزر والبحار الثانوية . ويصل معدل عمق قاعة إلى 4000 متر وهو على شكل قمم طويلة وحفر عميقة توجد على جنباتها أطول السّلاسل الجبلية . وفي الناحية الشرقية تقع سلسلة تحمائية واحدة تتمثل في خطّ قمة جزيرة باك ، بينما في الوسط والغرب نجد جزرا كثيرة من نفس النّوع .

ويمتد المحيط الأطلسي والبحار التّابعة له على مساحة 106 مليون كلم$^2$. ويتميز قاعه بتوفره ، في جزئه الأوسط على تضاريس هائلة تتمثّل في خط القمة الأطلسي المتوسط الممتد من أقصى شمال المحيط إلى أقصى جنوبه وتتكون الأجزاء الطافية في هذه السلسلة من إيسلندا وجزر الأصور والرأس الأخضر وأسونسيون وسانت هيلين والكناري . وترتفع هذه السلسلة على مستوى البحر إلى علو يصل 3000م عند قمة جبل تينيريف . ويبلغ معدل عمق المحيط الأطلسي 3300م ، وهو بذلك المحيط الأقل عمقا .

الرسم أسفله يبيّن قعرا بحريا انطلاقا من السّواحل وهبوطا إلى غاية أقصى قعر ممكن .



أما المحيط الهندي فهو أصغر المحيطات إذ تبلغ مساحته 75 مليون كلم². ويشبه قاعه قاع المحيط الأطلسي من حيث توفره على سلسلة جبلية طويلة تتمثل في خط القمة الهندي المتوسط ، وهي تبدأ عند خليج عدن وتمتد إلى غاية مدار الجدي لتنشطر إلى خطين متباعدين .

في الخريطة أسفله ، محاولة تمثيل مبسّط للتضاريس التحمائية . وكما يظهر منها ، فالتّضاريس العليا تقع في المحيط الأطلسي قرب الأصور وفي المحيط الهادي تحت جزر اليابان ، وفي المحيط الهندي بين أندونيسيا وأستراليا ، وفي المحيط الأطلسي ثانية ، بين باتاغونيا والمتجمد الجنوبي ، ثم على طول سواحل الشّيلي .

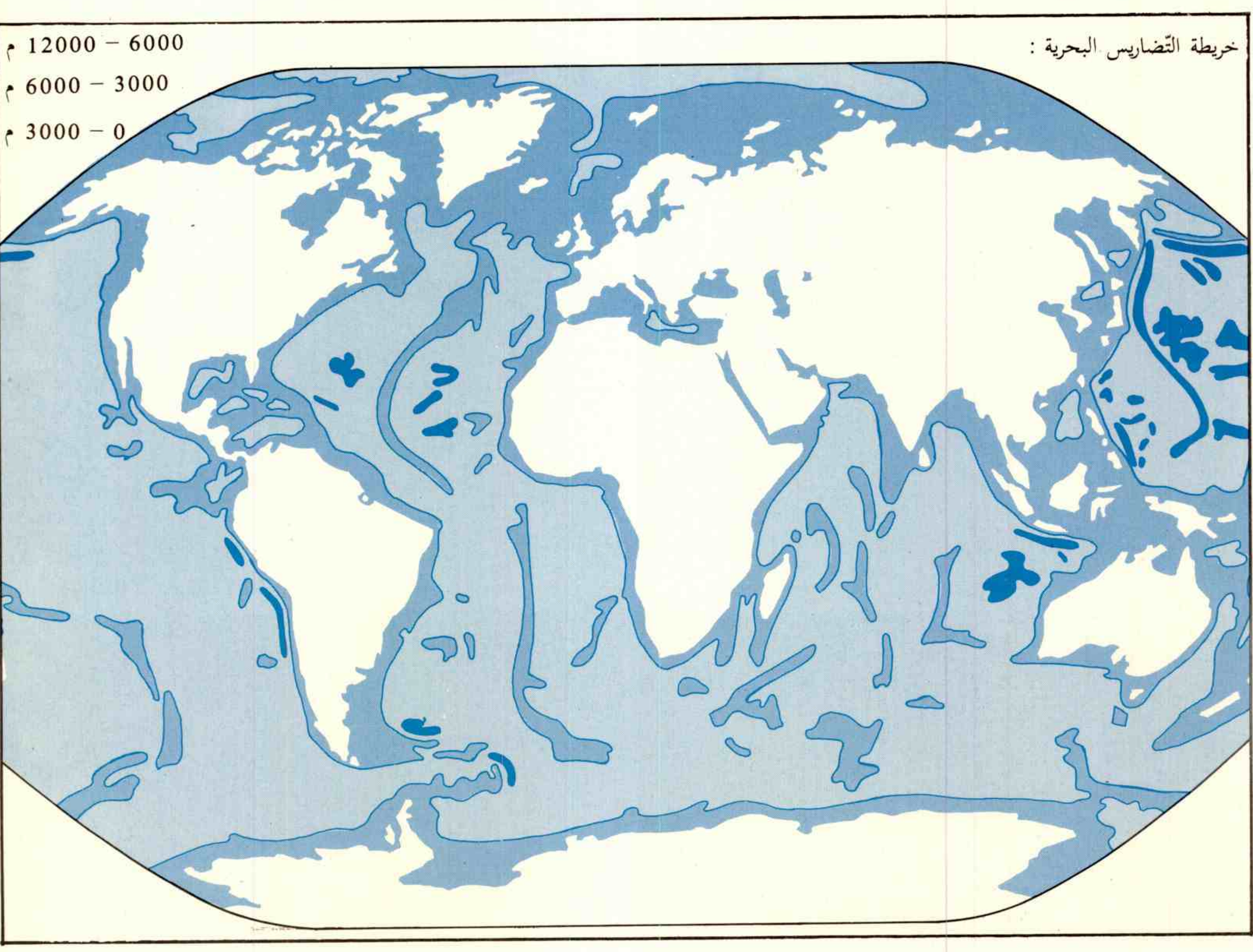
## حركات البحار :

إن البحر يخضع لتأثيرات **وعوامل** خارجية كالرياح والضغط الجوي وغيرهما ، ولعوامل داخلية كالكثافة والحرارة ، الشيء الذي يجعله في حركة دائمة . وتكون حركات البحر إما غير منتظمة على شكل أمواج أو دورية على شكل مد وجزر أو مستمرة على شكل تيارات .

والأمواج هي مفعول تأثير الرياح على سطح البحر . وعلى عكس ما يظهر للعيان ، فإنها ليست نتاج تنقل المياه بل هي نتاج انتشار هذه الحركة . وتثير الرياح انعقافات على سطح البحر مما يجعل المياه تنخفض ثم تقوم برفع المياه المجاورة لها نظرا لما تتوفر عليه من مرونة وانضغاطية ، وحين تسقط هذه المياه من جديد تقوم برفع مياه أخرى . وهكذا تتولد عن ذلك حركة اهتزازية تنتشر على مسافات طويلة . وتحت تأثير قوة الجاذبية ، ترسم ذرات الماء مدارات دائرية

**ماهي أسباب عمق المحيطات ؟**

خريطة التّضاريس البحرية :



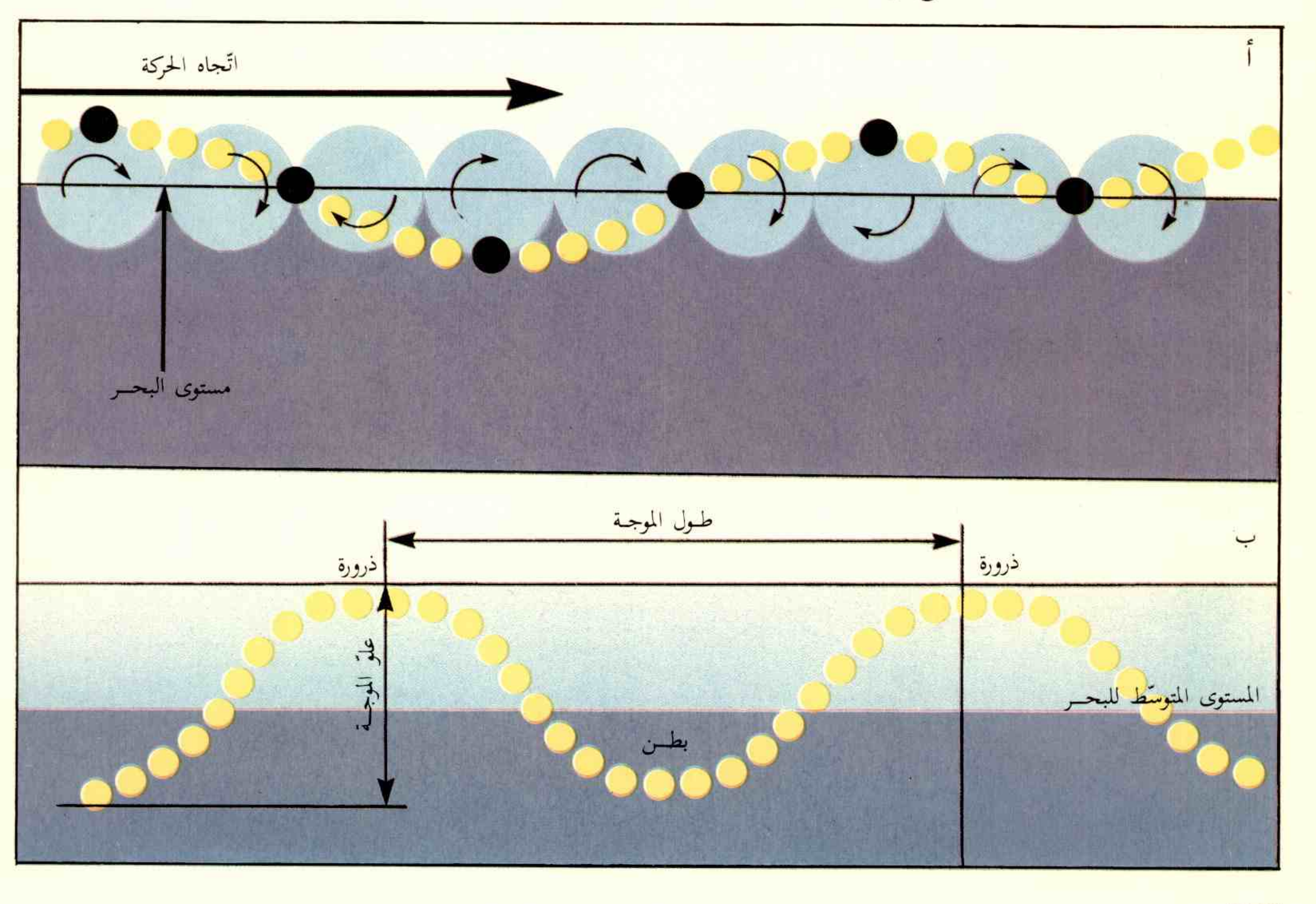
## كيف تؤثّر الرّياح على البحار ؟

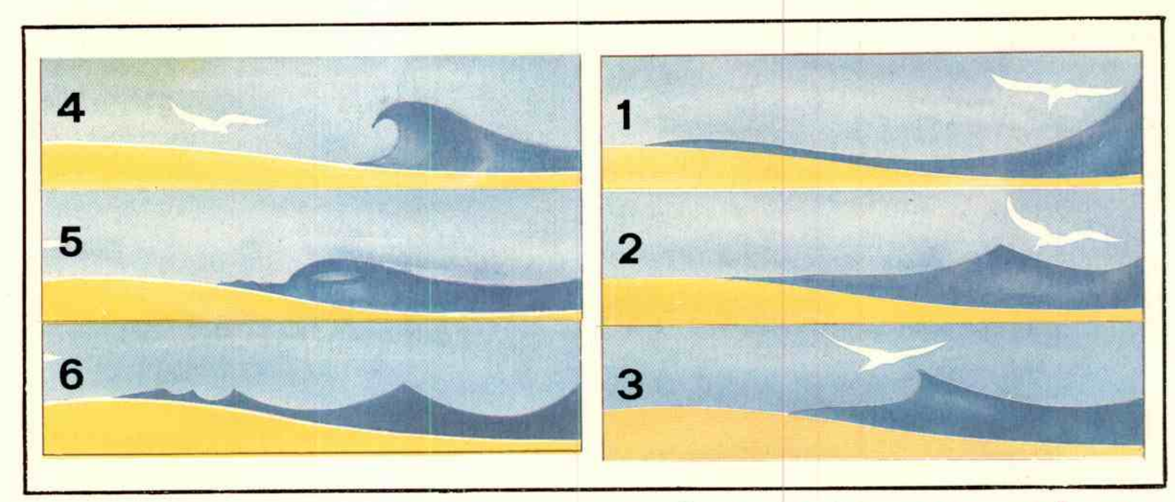
حول محور أفقي خال من أية حركة جانبية . وإذا ألقينا بشيء طاف في البحر ، فسنلاحظ أنه يتبع حركة الأمواج حيث يرتفع وينخفض معها دون أن ينتقل أفقيا بكيفية بارزة .

وتشتمل الموجة على جزء مقعّر تعرف النقطة السفلية فيه بالبطن ، وعلى جزء مقبب تعرف أعلى نقطة فيه بالذروة . أما طول الموجة فهو المسافة الأفقية الفاصلة بين ذروتين متعاقبتين ، في حين يكون علوها هو المسافة الفاصلة بين الذروة والبطن . أما الدورة فهي الزمن الذي تستغرقه الموجة لتتشكل من جديد في نفس المكان . وتصل سرعة الأمواج في المحيطات أحيانا إلى معدل 80 كلم/ س . أما فيما يتعلق بعلوها فلم تتوفر بعد معطيات دقيقة ، إلا أن العلماء يرون أنه لا يتجاوز 15 و 16 مترا ما عدا في الحالات الاستثنائية .

في البداية ، تخلق الرياح على صفحة المياه تموجات صغيرة تتحول تدريجيا إلى نتوءات بارزة تتعرض بسهولة إلى هبوب الريح التي تضاعف حجمها . وكلما ابتعدت الأمواج عن نقطة نشأتها كلما ازدادت سرعتها وعلوها لتتخذ بعد ذلك شكلا منتظما بذُرىً مستديرة وأكثر انخفاضا ، ثم تنتشر على آلاف الكيلومترات لتصبح أمواجا حرة . وتتنقل الأمواج الحرة على شكل مجموعات ذات نفس الدورة والعلو المتماثل . إلا أنه حين تصل قرب الشواطيء حيث يصبح الماء أقل عمقا ، فإن طولها يتقلص مما يجعل سرعتها كذلك تنخفض ، ذلك أن القعر القريب يعمل آنذاك بمثابة مكبح يثير تبطئة الموجة . وبالمقابل ، فالذروة تحتفظ بنفس السرعة مما يجعلها ترتفع وتتشوه وتنكسر ثم تنتشر مزبدة . وهكذا تتكون أمواج قعرية تختلف حسب طبيعة قاع

الرسم «أ» يبين حركات تموّج ذرّة مائية تحت تأثير الرياح وهي ممثّلة بنقطة سوداء . الرسم (ب) ، يبيّن عناصر موجة : فالذروة هي أعلى نقطة فيها بينما البطن هو النقطة السفلى ، والمسافة الفاصلة بين الذّرة والبطن تمثّل علوّ الموجة ، بينما المسافة الفاصلة بين ذروتين متعاقبتين تعطينا طول الموجة .





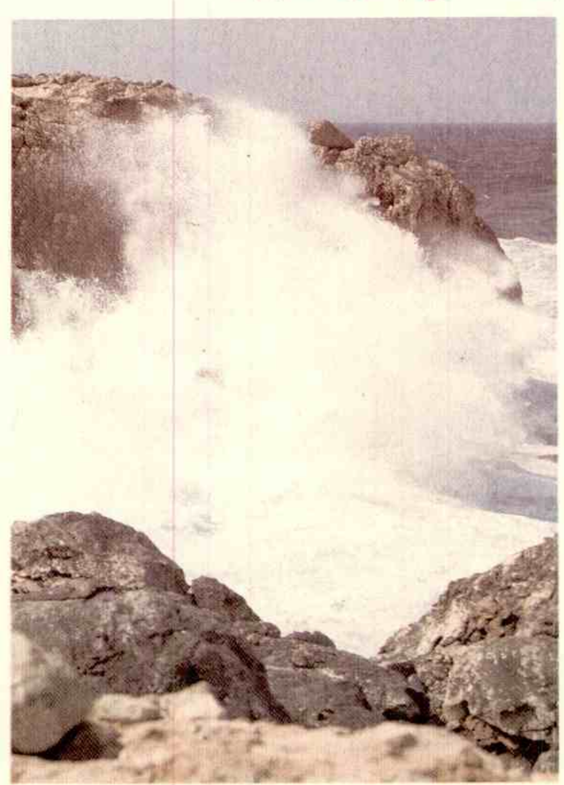

في الرسم أعلاه ، محاولة لتفسير تكون موجة متدليّة . في (1) ينقلب الماء نحو البحر لتكوين موجة جديدة (2) تتقدّم لتصل أقصى علوّها في (3) ، آنذاك تبدأ الموجة في السّقوط (4) وتصبح موجة متدلّية ، وفي (5) تنكسر على الشّاطئ لتصعد نحوه (6) .

---

عندما تصادف الموجة حاجزا ما ، تتوقّف حركتها بعنف إزاءه محدثة بذلك رشّاشاتٌ متطايرة ، كما يظهر في الصّورة أسفله حيث الأمواج المتدلّية .

وعندما تصادف الموجة شاطئا أو أماكن يكون فيها عمق الماء أقلّ من علوّ الموجة نفسها ، فإن الموجة تنقلب على الشّاطئ وتتقهقر إلى الوراء على شكل تيّار مدوّم يعرف بارتداد الأمواج (الصورة اليسرى) .

البحر . فإذا كان قليل الانحراف فإن الذروة تتشتت على السطح وتتحول الموجة إلى كتلة ضخمة من الزبد تواصل مسيرتها إلى غاية الشط ، وهذا ما يعرف بالأمواج السطحية . أما إذا كان القعر أكثر انحرافا فإن البطن يتعرض لتبطئة مباغتة مما يجعل الذروة تنتشر وتتقدم بعنف . والأمواج من هذا النوع تعرف بالمتهدلة . وفي الأماكن التي يكون فيها عمق المياه أقل من علو الأمواج ، فإن هذه الأخيرة تنقلب على الشاطيء وترجع إلى الخلف على غرار تيار من الدوامات يعرف بارتداد الأمواج . وبالاضافة إلى الأمواج التي تنتج عن الرياح هناك أمواج أخرى تصدر عن نشاط البراكين التحمائية والزلازل التي تكون بؤرتها في قعر البحار أو عن انهيار في أعماق البحر . وتعرف هذه الأمواج بالأمواج العالية المفاجئة وهي تنتشر بسرعة فائقة وترتطم





بالشواطىء بأقصى ما يمكن من العنف حيث تسبب الدمار والخراب والكوارث الفظيعة .

وفي أعالي البحار لا تتوفر الأمواج العالية المفاجئة سوى على علو متواضع لا يتعدى مترا أو مترين ، إلا أن دورتها تكون طويلة إذ تستغرق خمسة عشر دقيقة . أما طولها فيصل إلى عدة مئات الكيلمترات ، مما يجعلها تنتشر بسرعة قصوى تزيد أحيانا عن مئات الكيلمترات في الساعة . وعلى مقربة من الشواطىء ، حين يلامس البطن القعر فإن الأمواج تصبح عالية جدا بسبب قوتها الخارقة إذ يصل علوها أحيانا 35 مترا .

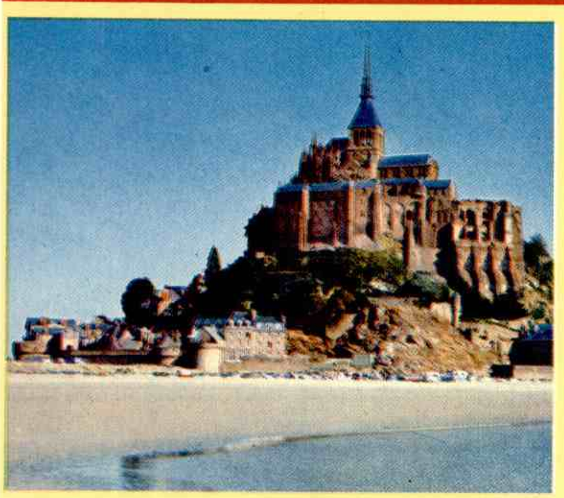
## لِماذا هناك مدّ وجزر ؟

### المد والجزر :

إن المد والجزر ، هما تموجات مياه البحر الدورية تحت تأثير جاذبية الشمس والقمر بالخصوص ، الذي يعد أقرب كوكب إلى الأرض .

ويعرف كل من المد والجزر مرحلتين ، فحين ترتفع المياه ببطء إلى أعلى مستوى يكون ذلك أقصى المد . وبعد ذلك مباشرة تنخفض المياه لتصل إلى أدنى مستوى حيث يحدث ما يسمى بأقصى الجزر . ويقدر الفاصل بين المد والجزر بست ساعات وإثنى عشر دقيقة . ففي ظرف 24 ساعة و 50 دقيقة ، أي الزمن الذي يستغرقه القمر للعودة إلى نفس الخط الهاجري ، يحدث مدان وجزران . وفي بعض الأماكن لا يحدث سوى مد واحد وجزر واحد ، ويعرفان بالمد والجزر النهاريين .

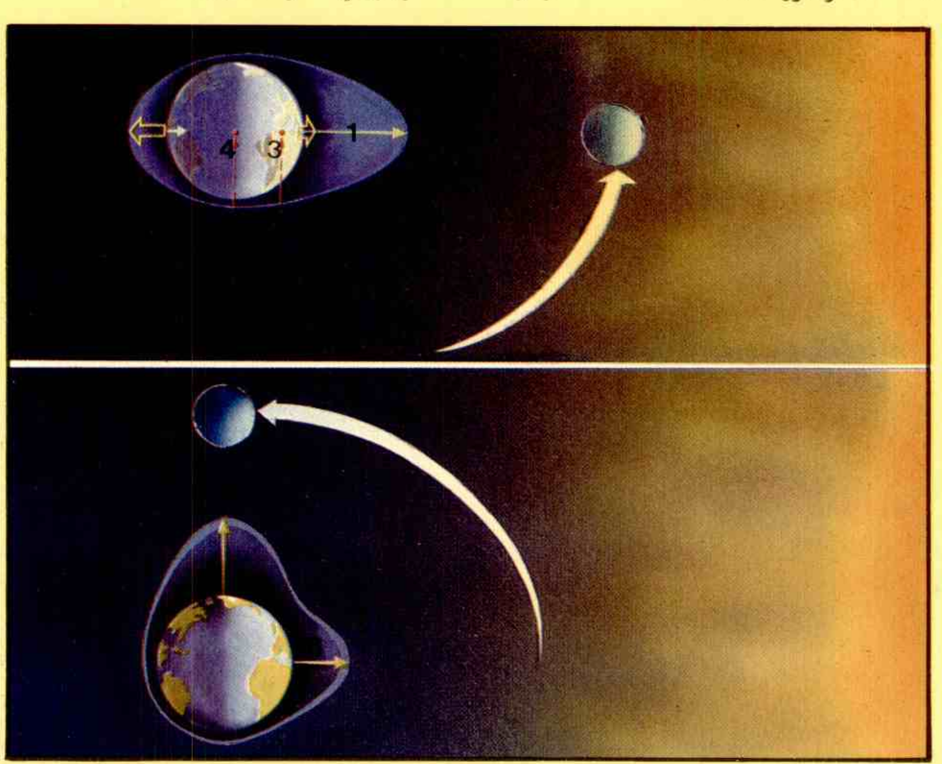
ولا يتكون المد والجزو بنفس الكيفية في جميع الأماكن ، إذ تتراوح سعتهما ما بين عدة أمتار كما هو الشأن في السواحل الغربية لأنجلترا ، وبضعة سنتميترات في الجزء الأوسط من المحيط الهادي . وفي قناة بانا ما تختلف سعة المد والجزر من محيط إلى آخر ، إذ تبلغ ثلاثين مترا في الشواطىء الأطلسية وخمسة أمتار في شواطىء الهادي . وتتغير شدة وكثافة المد والجزر بدورها من حد أدنى إلى حد أقصى حسب قوة جاذبية كل من الشمس والقمر . فحين تكون الشمس والقمر في قران مع الأرض ، أي حين يظهر الهلال أو البدر ، فإن المد والجزر يصلان إلى سعتهما القصوى . وبالمقابل ، حين يكون القمر والشمس في تربيع بالنسبة للأرض ، فإن جاذبية الشمس تتملص من جاذبية القمر ، وتكون شدة المد والجزر في مستواها الأدنى .



من جبل سان ميشال بالمانش (بفرنسا) يمكن التيقّن من أهمّية المدّ والجزر . فعند المدّ تنعزل البلدة بالمياه ، وحين يكون الجزر ، ترتبط بالقارّة بواسطة برزخ من الرّمال .

وإذا تكوّن المد والجزر بفعل الجاذبية التي يخضع لها القمر ، فما زال التفسير معلقا لحد الآن بشأن حدوثهما تزامنيا مع خط الزوال ومقابل خط الطول في مكان معين ، والعكس حين يمر القمر فوق هذين الخطين . وقد حاول نيوتن تفسير هذه الظاهرة على النحو التالي : لنفترض أن الأرض مطوقة بالمياه ولنفترض وجود نقطتين متحركتين « أ » و « أ » ، فالنقطة « أ » تنجذب بقوة الشمس والقمر وهي قوة تفوق بكثيرة قوة جاذبية مركز الأرض ( م ) ، آنذاك ترتفع النقطة « أ » في اتجاه نابذ . ولا تمارس هذه القوة على النقطة «أ» إلا قليلا ، ولذلك فهذه النقطة تميل إلى الافلات من قوة الجاذبية فتبتعد عن المركز في اتجاه معاكس . أماج . داروين ( ابن شارل داروين المعروف ) ، فقد اعتبر أن الأرض والقمر ، نظرا لانتمائهما لنفس النظام الآلي الذي يقع مركز دورانه على بعد 4700 كلم من مركز الأرض فإن جميع نقط الأرض تخضع إلى قوى نابذة ذات نفس الكثافة . وبما أن قوة جاذبية القمر تفوق القوى النابذة ، ففي نصف الكرة البارز يرتفع مستوى المياه ، بينما في نصف الكرة الآخر يرتفع مستوى المياه كذلك ولكن تحت تأثير القوى النابذة التي لا تؤثر فيها جاذبية القمر إلا قليلا .

ولا يحدث أقصى المد في نفس الوقت الذي يمر فيه القمر فوق خط الزوال ، ولكن يتأخر بعد مروره فترة من الزمن وذلك راجع إلى كونه يصادف حواجز متمثلة في الصخور والجزر والقنوات التي تكبح من سرعته . ويعرف هذا التأخر بساعة الميناء ، إذ تسمى كل الخطوط الرابطة بين نقط وصول المد والجزر في نفس الساعة بخطوط المد المتوازنة .




1 – جاذبية القمـر
2 – قوة نابـذة
3 – مركز جاذبيّة الأرض والقمر
4 – مركز الأرض
5 – جاذبية القمـر
6 – جاذبية الشّمس
7 – المدّ والجزر الميّتـان

رسم تبياني لتكوّن المدّ والجزر حسب نظريّة داروين .

كيف تتكوّن التيّارات ؟

## التيارات :

إن التيارات تشبه أنهارا حقيقية تجري في نفس الاتجاه وسط الكتل المحيطية محتفظة بخصائصها الجوهرية كالملوحة واللون والحرارة . وهناك عوامل كثيرة تسبب في نشأة التيارات ، ومنها عمل الرياح واختلاف الحرارة والملوحة الموجودة بين بحرين متصلين أو بين سطح وقعر نفس البحر ، ثم دوران الأرض . وتصنّف التيارات إلى تيارات دافئة أو استوائية وتيارات باردة أو قطبية ، وذلك بالنظر إلى مدى ارتفاعها أو انخفاضها بالنسبة للمياه المحيطية بها . كما تصنف إلى تيارات عمودية وتيارات أفقية حسب اتجاه حركتها .



نلاحظ في هذه الصّورة الشّواطئ المتقطّعة في كوستابرافا وكذلك لون البحر قرب الشّاطىء ولون تيّارات عرض البحـــر .

وتحدث التيارات العمودية بين السطح والقعر . فخلال الليل أو في فصل الخريف ، يمكن للمياه الباردة أن تنزل لتعوضها مياهُ القاع الدافئة . وخلال النهار أو في البحار الدافئة وبفعل التبخّر ، يمكن للمياه السطحية أن تصير أكثر كثافة وثقلا لتنزل فتعوّضها المياهُ الأكثر برودة .

التيّارات البحرية : ا . تيار شمال استوائي ، ب . تيار جنوب استوائي ، ج . تيار مضادّ استوائي ، كوروشيفو ، د . غولف ستريم والتيار الشّمال الأطلسي ، هـ . تيار الابر ، و . تيار استراليا الشّرقية ، ز . تيار البرازيل ، ح . تيار كاليفورنيا ، ط . تيار الكاناري ، ي . تيار أستراليا الغربية ، ك . تيار هومبلدت ، ل . تيار بنغويلا ، ن . أوياشيفو ، س . تيار لبرادور ، ع . تيار غرينلاند الغربية ، ف . تيار القطب الجنوبي .

اتّجاه التيّــار .
مياه باردة تصعد إلى السّطح على طول الشّواطىء
مياه باردة نسبيّا
مياه حارّة نسبيّا

المحيط الأطلسي
المحيط الهادئ
المحيط الهندي

لماذا توجد في نفس خطّ العرض مناطق حارّة ومناطق باردة ؟

ولنتفحص مثلا نموذجيا للدورة العمودية : فالمياه السطحية القطبية تنزل نحو قيعان البحار قبل أن تتجه نحو خط الاستواء حيث تسخن لتصعد من جديد ، مشكلة بذلك التيارات الاستوائية .

والتيارات الأفقية أسرع بكثير من التيارات العمودية ، وهي ذات تأثير كبير على المناخ . وتصنف بدورها إلى تيارات محلية أو متوسطية وتثيرها اختلاف الحرارة والملوحة ، ثم تيارات محيطية .

ومن أشهر التيارات الأفقية المحيطية ، « الغولف ستريم » . ففي شمال وجنوب خط الاستواء يتكون شريطان مائيان كبيران يتوجهان من الشرق إلى الغرب ويعرفان على التوالي بتيار الشمال الاستوائي وتيار الجنوب الاستوائي ، ويوجدان في كل من المحيط الأطلسي والمحيط الهادي . ففي المحيط الأطلسي يتوجه التياران نحو البرازيل . فعلى مستوى رأس سانت روش ينشطر تيار الجنوب الاستوائي إلى فرعين يتجه أحدهما نحو الجنوب حيث يلامس الشواطىء البرازيلية إذ يعرف بتيار البرازيل ، ثم يلتقي بعد ذلك بتيار الجنوب الأطلسي القطْبيّ جنوبيّ ليتوجها معا نحو السواحل الافريقية تحت إسم تيار بنغولا البارد . أما الفرع الثاني فيتجه صوب الشمال حيث يلتقي بتيار الشمال الاستوائي ليشكل تيار غويانا الذي يقتحم بحر الكرايْبي ثم يخرج منه عبر قنال فلوريدا فيتكون منه في عرض خليج المكسيك « الغولف ستريم » . ويحادي الغولف ستريم الولايات المتحدة ويصل إلى غاية جزيرة تيرنوف ( الأرض الجديدة ) حيث يتحد بتيار لابرادور ثم ينقسم إلى ثلاثة فروع ، وهو ذو حرارة تزيد عن 24 درجة مئوية وسرعة تفوق الخمسة كيلمترات في الساعة . ويتوجّه فرعه الأول نحو غرينلاند وفرعه الثاني نحو أوروبا وفرعه الثالث نحو سواحل البرتغال والكاناري . وهو ينزل تحت إسم تيار الكاناري في اتجاه افريقيا حيث يلتقي على مستوى جزر الرأس الأخضر ، بتيار الشمال الاستوائي ، ليحُدّ بذلك منطقة محيطية شاسعة ذات مياه هادئة تعرف ببحر سارغاس .

ويوجد في المحيط الهادي نظامان تياريان مماثلان للتيارات السابقة الذكر . ففي الجزء الشمالي هناك تيار كوروشيفو الدافىء أو التيار الأسود الذي يلامس شواطىء الصين واليابان ثم يتوجه بعد ذلك نحو أمريكا الشمالية ليلتحم بتيار الشمال الاستوائي ، وفي نصف الكرة الجنوبي هناك تيار البيرو البارد الذي يتكون من مياه تيار البحر المتجمد الجنوبي .

وفي المحيط الهندي تغيّر التيارات من اتجاهها حسب انقلاب الرياح الموسمية . فمن غشت إلى أكتوبر يعم تيار متجه صوب الشرق بينما في الشتاء يتنقل في اتجاه الغرب .

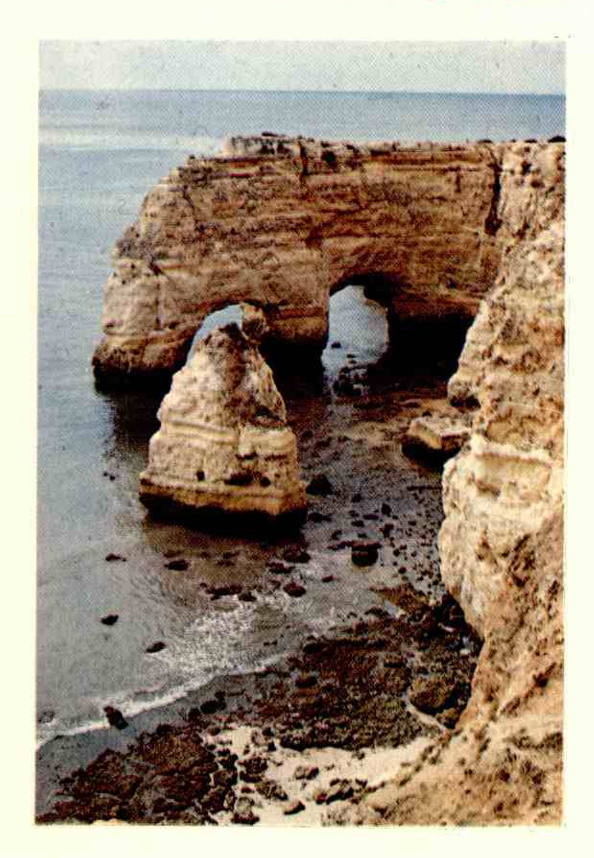
## الاراضة الدينامية للبحار :

إن الشواطىء هي الحدود الفاصلة بين الأراضي الطافية وبين البحار ، إلا أن هذه الحدود تتغير وتتحول باستمرار حسب حركات مستوى البحار . وتتعرض الشواطىء دوما إلى التحول وإعادة التشكُّل تحت تأثير أمواج البحار . ففي بعض الأماكن تكون هذه الشواطىء متآكّلة حيث تتقهقر ، وفي أماكن أخرى يتضخم سطحها ويكبر بسبب تراكم المواد الحتاتية التي تخلفها الأمواج هناك . وبطبيعة الحال ، فإن هذه الظواهر كلّها تتمّ خلال مدّة زمنيّة طويلة ، ولكنها مع مرور العصور تُحدث تغييراً جذريّاً في شكل الشواطىء .

ويتم تأثير البحر على الشواطىء على مرحلتين ، أولاهما عبارة عن مرحلة تخريب وتفتيت تسمى الانحتات وثانيهما عبارة عن مرحلة إعادة البناء والانشاء وتسمى الترسّب ، ويتعلق الأمر خلالها بتوزيع وإيداع الشواطىء .

وتمارس عملية التخريب بكيفية واضحة على الشواطىء المرتفعة ، وهي صادرة عن قوة اصطدام الأمواج بها واقتلاعها للمواد الصخرية من الشواطىء نفسها والقذف بها من جديد لترتطم بها فتتكسر ثانية . ومع مرور الزمن يؤدي

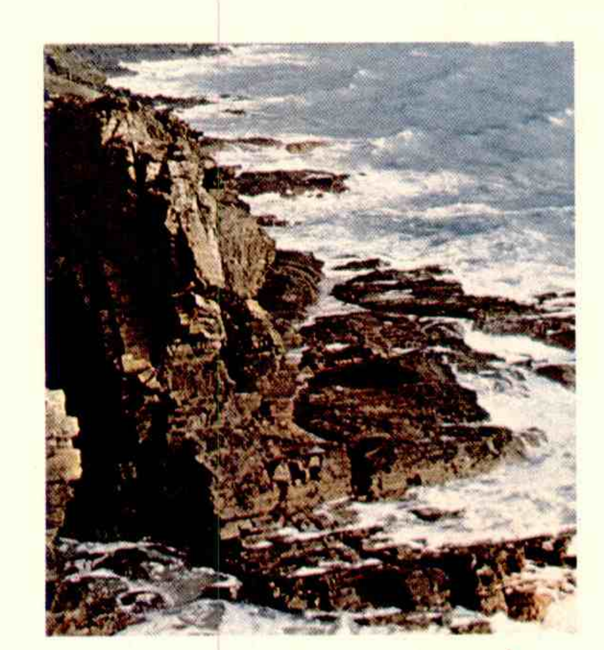
مثال لعمليات الاراضة الدّينامية للبحر : جانب من ساحل جنوب البرتغال حيث حتّ البحر الصّخور الصّلصالية وقطعها ليشّكل منها أقواسا طبيعيّة .



**كيف يؤثر البحر على الشّاطئ ؟**

عنف الأمواج إلى حفر أخاديد بسفوح الشواطىء الصخرية المرتفعة ، وتتعمق أخاديد خط التحطم هذه تدريجيا إلى أن تصبح على شكل مغاور . ونظرا لانعدام أسس تدعّم الصخور العلوية ، فهذه الأخيرة ينتهي بها المطاف إلى الانهيار ، آنذاك يتراجع الشاطىء . وخلال فترة من الزمن ، تقوم المواد الصخرية المتحطمة بحماية الشاطىء وتأخير تقهقره ، ولكنها سرعان ما تتعرض من جديد إلى التحطيم والحتّ تحت تأثير حركة الأمواج ، وتعود عملية التخريب من جديد . وهكذا تنشأ منطقة شاسعة مائلة شيئا ما نحو البحر ، وتعرف بالمُنحدر الشاطئي .

وليست عملية التخريب بنفس الشدة والكثافة في جميع الأماكن ، لأنها مرهونة بعملية الأمواج وطبيعة وجانبية الشواطىء ودرجة مقاومتها ووضع الطبقات الصخرية التي تكونها . فالشاطىء يتخذ مظهرا متنوعا ومثيرا للاعجاب حين يتكوّن مثلا من طبقات صخرية صلبة تتعاقب مع طبقات صخرية هشّة ، ذلك أن الطبقات الهشة تتاكل بسرعة وتتقهقر مشكّلة ثغرات وخلجانا وكهوفا ، في حين تكوّن الطبقات الصلبة أشنخة داخلة في عرض البحر . ومع مرور الزمن ، تبتر هذه الأشنخة وتنعزل عن الشاطىء ثم تُسوَّى على شكل جزيرات صخرية . وبالمقابل ، حين تكون الصخور كلها على نفس الكثافة ، فإن الشاطىء يتخذ مظهرا منتظما . وتكون درجة التآكل ضعيفة على الشاطىء حين تكون الطبقات الصخرية منضّدة بشكل



الصورة أعلاه : الكوتنتين بفرنسا ، نلاحظ نتائج حتّ البحر المتمثّلة في تقطيع الصّخور والكهوف إلى طبقات متعاقبة . أسفله : حتّ خطّ ساحلي جديد (الخطّ المتقطّع يبيّن مستوى البحر) ، تودع الأمواج الحتات ماوراء منطقة الاضطراب ، وفي النقطة التي يشير إليها السّهم ينشأ منحدر وجرف من الصّخور الوعرة (2) . وهذا الجرف يتعرّض فيما بعد إلى حتّ الأمطار والرياح ويتحوّل إلى إنحدار خفيف . الرسم (4) يبين باللّون الأصفر الجانبية الأصلية وبالكستنائي الايداعات المتعاقبة .

## كيف يتكوّن حزام ساحليّ ؟

تعامدي بالنسبة للبحر ، بينما يكون شديدا عندما تكون الطبقات منضدة بكيفيّة أفقية بالنسبة للبحر .

وتصنف الشواطىء العالية إلى عدة أنواع حسب ما تعرضت له من تأثير تخريبي بفعل المياه البحرية وهي كما يلي :

ـــ **الشواطىء ذات القنوات أو الصنف الدالماسي** :وهي غاية في التمفصل وتوجد بها خلجان وأجوان عديدة ، وتحاديها جزر طويلة متوازية تفصلها عن الشاطىء قنوات بحرية ضيقة . ويرجع مظهرها المتميز هذا إلى هجوم البحر وخفضه لمنطقة ذات ثنايا مستطيلة تمثل الجزر جزءها الأعلى والقنوات جزءها الأسفل .

ـــ **الشواطىء ذات الأودية البحرية** : وتقتحمها الأجوان والخلجان والأحواض العميقة ، كما تتقدم في عرض البحر رؤوس وأشباه جزر عديدة . وهي عبارة عن أودية من أصل نهري غمرها البحر على إثر انخفاض الأرض .

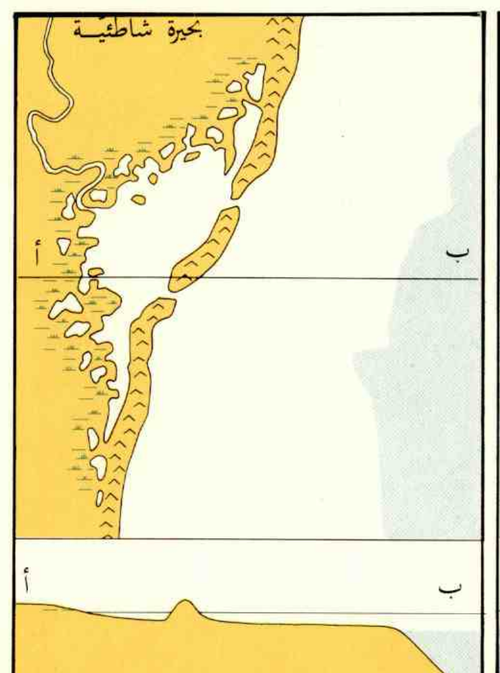
ـــ **الشواطىء ذات الأجرف** : هي مستقيمة وتمثل جدراناً تشرف على البحر .

ـــ **الشواطىء ذات الأزقة البحرية** : وهي من مميزات المناطق الجليدية ، وهي عبارة عن خلجان طويلة تصل أحيانا إلى 200 كلم ، وتكون غاية في الضيق والعمق ، ولها جدران شديدة التحدّر . وعند مستوى تماسّ هذه الخلجان مع البحر ، غالبا ما توجد جزيرات أو ما يشبه عتبة . وقد تشكلت الأزقة البحريّة على إثر غزو البحر لأودية جليدية عتيقة وذلك بفعل انخفاض التربة .

**الشواطىء المنخفضة :**

إن الشواطىء هي أجزاء ساحلية مسطحة ورملية مكونة من مواد قادمة من أماكن مختلفة أو من أنهار ، ثم تراكمت بفعل حركات الأمواج . وهكذا ، فإذا كانت الشواطىء المرتفعة تتعرض لعملية تخريبية من قِبل الأمواج فإن هذه العملية تتحول إلى عملية تقهقر بينما تتقدم الشواطىء في اتجاه عرض البحر .

وعلى طول الشواطىء لا يودَع سوى جزء من المواد التي تنقلها المياه البحرية ، فالعناصر الأخفّ وزنا والأدقّ كتلة تحملها الأمواج نحو أعالي البحار حيث تتراكم هناك فتصبح عبارة عن تلال تحمائية تُعرف بالحواجز أو الأرصفة تطفو أحيانا لتكون لسانا رمليا ، وهذا اللسان الذي يكون متوازيا مع الشاطىء بإمكانه أن يطوّق مساحة من الماء ليشكّل بذلك بحيرة شاطئية أو مستنقعا شاطئيا . وينقل جزء آخر من المواد في غالب الأحيان إلى نقط تبعد عن الشواطىء بمئات الكيلومترات ، حيث تودع في قعر المحيطات على شكل ترسّبات تتغير حسب طبيعتها والمسافة والعمق . وكلما توغلنا في عرض البحر ، نجد رسوبات شاطئية مكونة من أجزاء الصخور والمواد النهرية ، ثم رسوبات الأعماق المحيطية أو البحرية ، وتتكون من المواد الصادرة عن خراب الأراضي الطافية الممزوجة بالبقايا العضوية ، وهي تمتد إلى غاية عمق يبلغ 2000 متر وتتكون من الأوحال الزرقاء المميزة للبحار الشاماليو ، وتسمى بالزرقاء نظرا لاحتوائها على سلفورات معدنية ، كما تتكون من أوحال خضراء غنية بالغلوكونيتات الموجودة بالخصوص في المحيط الهادي ، ومن أوحال حمراء وصفراء توجد في كل من المحيط الأطلسي وبحر الصين ، وتحتوي على أكسيد الحديد . وتكون قيعان المحيطات مغطّاة بالطين الأحمر الذي يتكون من بقايا الأجسام العلقيّة المتفسخة ، ومن المواد البركانية الدقيقة ومن أوكسيدات الحديد . وتختلف الشواطىء المنخفضة بعضها عن بعض حسب آلية تراكم المواد بها . فهناك شواطىء هلالية الشكل ، تكون مقوسة وسط أشنخة صخرية تحميها جزئيا من قوة الأمواج وتسهل تراكم المواد المنقولة هناك ، ثم هناك شواطىء ذات اللسان الأرضي ، وهي تحتضن جزرا رملية قد تحيط ببحيرات أو مستنقعات شاطئية ، كما أن هناك شواطىء ذات حاجز ، تتكون من جزيرات تفصلها عن الأرض اليابسة خلجان عميقة .




في المناطق السّاحلية المنخفضة حيث لا يكون البحر عميقا الّا في عرضه البعيد ، تكوّن الأنهار ذات المجرى البطيء بحيرات شاطئية (الرسم الأعلى) . ويصبح السّاحل غير مستقر بفعل المياه العالية للأنهار ودخول البحر من المضايق ، وتتكوّن هناك مستنقعات شاسعة . في الأسفل ، (ب) مقطع لأحدى البحيرات الشّاطئية .

إنّ سطح الماء في جزيرة مرجانية يشكّل بحيرة مرجانية (الرسم الأسفل) . وهي في مأمن من ارتداد الأمواج بفضل الشّعب الحاجز الذي تبقى بعض أطرافه دائمة البروز حيث تكون جزرا صغيرة . ويبيّن الخطّ الأزرق القناة التي تصل بين المضيق والمرفإ . في الأسفل (ج د) مقطع لجزيرة مرجانية مع بحيراتها المرجانية .

لماذا لا تتوزّع المياه بنفس الكيفية ؟

# المياه العذبة :

هناك اختلاط مائي يتم على عدة أشكال ما بين الكتل المحيطية والغلاف الجوي . وبفعل التبخّر وتنفّس الأجسام الحية ترتفع كمية معينة من الماء نحو الطبقات الجوية على شكل بخار مائي ، بينما تتدفق من الغلاف الجوي، في اتجاه الكتل القارية ، كميات من الماء تختلف حسب عدة عوامل . ويمكن توضيح ظواهر التغير هذه على النحو التالي : ففي البداية ، يكون هناك مناخ يحدد مدى وفرة التساقطات سواء من حيث كمياتها أو ترددها أو درجة ارتفاع حرارتها التي قد تسهّل أو تصعّب التبخر . ثم هناك بالنسبة للأراضي الطافية ،الغلاف النباتي وطبيعة التربة والصخور التي تكونها ــ وقد تكون ذات مفعول كتيم متغير ــ وتشكل المساحات التي يمكن أن تتوفر على منحدرات مختلفة البروز . وهكذا يمكن القول: إن كل هذه العوامل تؤثر على المياه بصفة عامة وعلى مجاري المياه بصفة خاصة ، وإذا تدخلت جميعها أو غابت جميعها ، فهي تؤدي إلى تشكل شبكات مائية متفاوتة الوفرة وإذ نجد مناطق خارجية المياه تتميز بشبكة مائية هائلة تصب في البحر ،ومناطق داخلية المياه ذات المياه السطحية القليلة والتي تسيل دون أن تبلغ البحر ، حيث تتمركز في كتل معزولة ، ثم مناطق جافة حيث يظهر تبخر كثيف ، يجعلها خالية تقريبا من المياه السطحية . ويتضح من كل هذه المعطيات أن هناك مياها سطحية ومياها تحأرضية أو جوفية ، تشكل مجموعتين كبيرتين من المياه القارية .

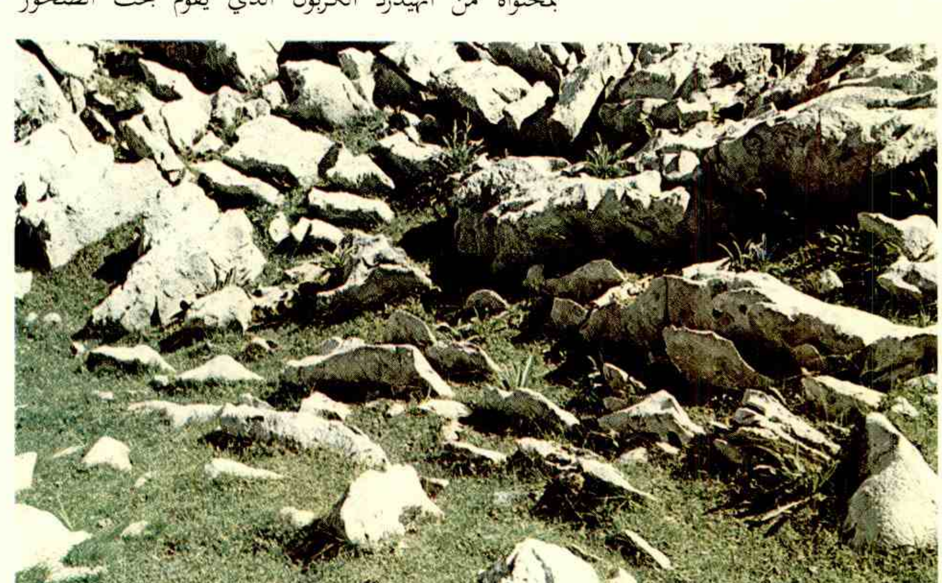
**الاراضة الدينامية للمياه الجوفية :**

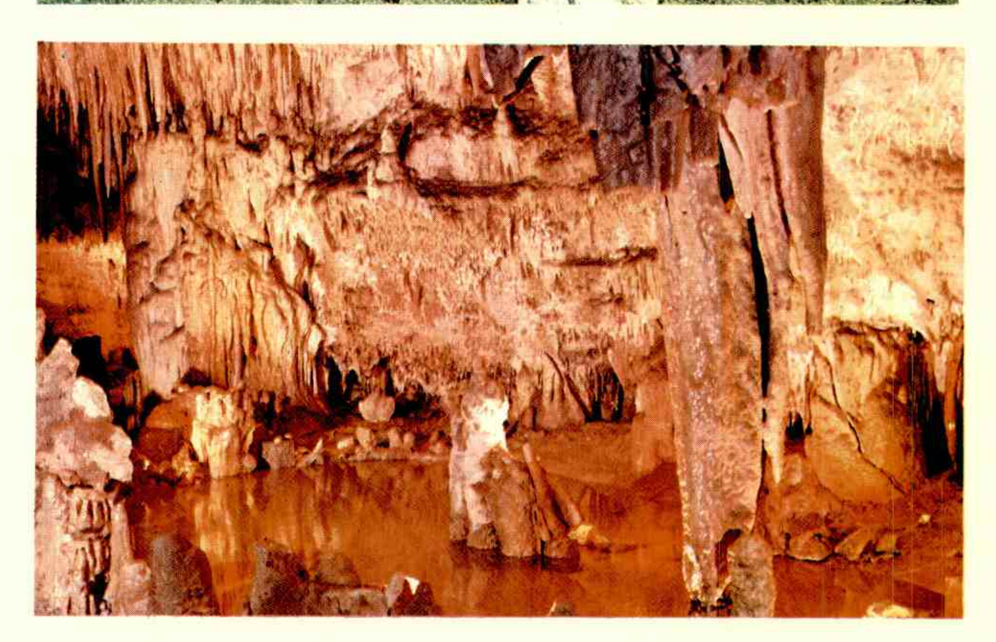
على غرار المياه السطحية ، تلعب المياه الجوفية دورا هاما في تحويل الصخور ، وغالبا ما تثير إراضتها الدينامية ظواهر فخيمة تختلف طبيعتها ، لكونها مرتبطة بالأعماق التي تحدث فيها هذه الظواهر . ويبدو أن الماء يوجد على حالته السائلة إلى غاية عمق 12000 متر ، وأن كل الصخور الواقعة فوق هذا المستوى تكون مبلّلة بهذا الماء ، بينما في الطبقات الواقعة تحت هذا المستوى لا يوجد الماء إلا على شكل بخار، وذلك راجع إلى الضغط والحرارة الباطنيين .

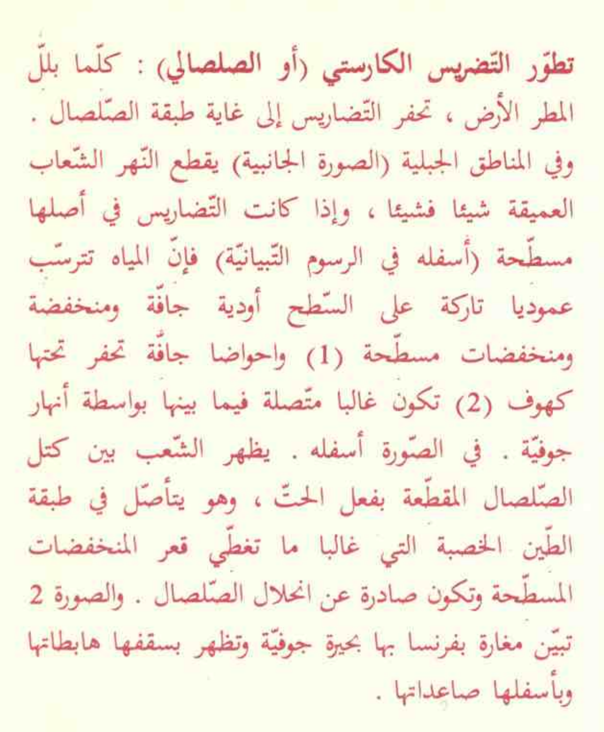
صورة رائعة لمجرى مياه غير منتظم ، يتميّز بالشلّالات القوية (غوتيمالا ، أغوا أزول) .

## كيف تكوّن المياه الجوفيّة الصّخور ؟

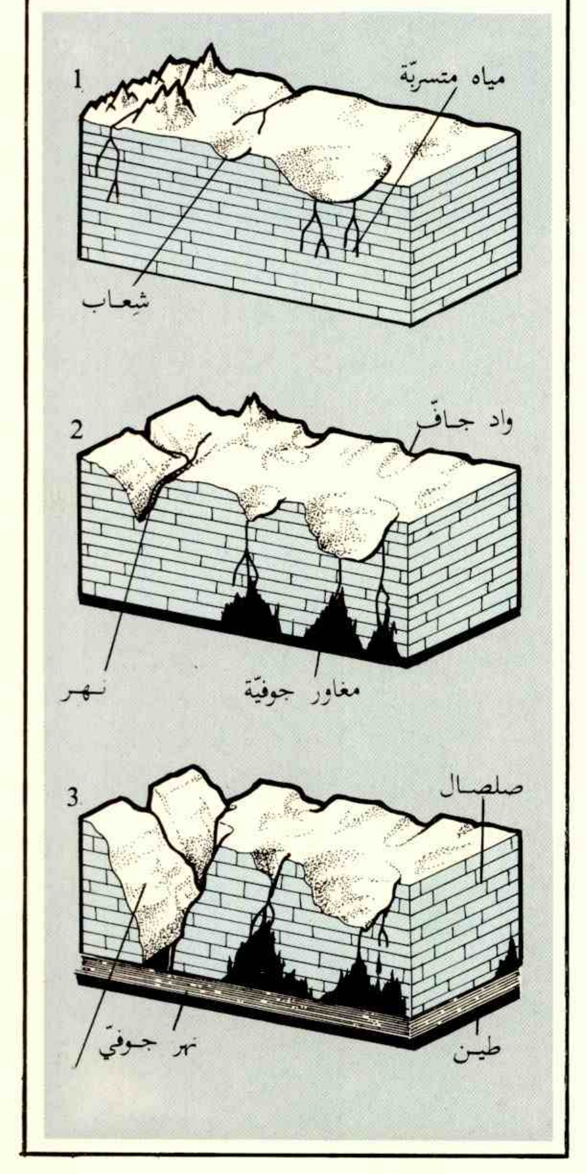
ولهذه الأسباب يميز الاراضيّون ما بين منطقة التغير العليا والمنطقة التحولية السفلى أو الباطنية حيث تتعرض لتأثير بخار الماء والضغط والحرارة المرفوقة بالتغيرات المتعلقة بالتركيب الكيماوي والبنيوي . ومن ظواهر منطقة التغير ، الانحلال والحت والتحول الكيماوي والترسّب . ومن ظواهر الانحلال هناك التضريس الصلصالي ( أو الكارستى ) وهو أضخم الظواهر، لأن المياه تتسرب بسرعة إلى الصخور الصلصالية المشقوقة لتسيل عبر مجموعة من الدهاليز والقنوات والمغارات قبل أن تظهر من جديد على السطح على بعد عدة كيلمترات ، أو تتعرض للضياع في باطن الأرض . والطريقة التي تتم بها هذه الظاهرة ، كيماوية بالأساس . فالماء يتميز بقدرة حل فائقة ، فهو حين يخترق الصخور يقوم بحل المواد القابلة للانحلال . مما يجعله يشحن بالأملاح . وعند درجة معينة من العمق ، يحتفظ الماء بمحتواه من أنهيدرد الكربون الذي يقوم بحت الصخور







**تطوّر التّضريس الكارستي (أو الصلصالي)** : كلّما بلّل المطر الأرض ، تحفر التّضاريس إلى غاية طبقة الصّلصال . وفي المناطق الجبلية (الصورة الجانبية) يقطع النّهر الشّعاب العميقة شيئا فشيئا ، وإذا كانت التّضاريس في أصلها مسطّحة (أسفله في الرسوم التّبيانيّة) فإنّ المياه تترسّب عموديا تاركة على السّطح أودية جافّة ومنخفضة ومنخفضات مسطّحة (1) واحواضا جافّة تحفر تحتها كهوف (2) تكون غالبا متّصلة فيما بينها بواسطة أنهار جوفيّة . في الصّورة أسفله . يظهر الشّعب بين كتل الصّلصال المقطّعة بفعل الحتّ ، وهو يتأصّل في طبقة الطّين الخصبة التي غالبا ما تغطّي قعر المنخفضات المسطّحة وتكون صادرة عن انحلال الصّلصال . والصورة 2 تبيّن مغارة بفرنسا بها بحيرة جوفيّة وتظهر بسقفها هابطاتها وبأسفلها صاعداتها .



الصلصالية وتحويل كربونات الكلس إلى ثاني كربونات محللة . وهذه هي المرحلة الأولى ، من سيرورة التشقق التي تستغرق — في مناطق التضريس الصلصالي — عدة قرون بسبب وفرة التغيرات الجوفية التي تمتد أحيانا على مسافة مئات الكيلمترات . وعندما تكون الشقوق واسعة جدا ومتباعدة فيما بينها يسيل الماء بسهولة إلى أن يصادف شقا يتساقط منه مع القيام بحتّ الجدران التي يلامسها ، محدثا بها تجويفات مستديرة وواسعة تعرف بالمنخفضات المسطحة . وهي كثيرة في مناطق التضريس الصلصالي . ويمكن أن تنتج المنخفضات المسطحة كذلك عن انهيار تقبب الكهوف القليلة العمق ، وهي على عدة أشكال ، فمنها القدحية والجفنية والصحنية والقِمعية والبئرية . وعندما يكون قعرها مسدودا فإنه يستقبل ترسبا من الطين المحمّر ، الصلصالي الحديدي المعروف بـ «طين كراست الأحمر » ، وهو نتاج تفسخ الصلصال . كما أن القعر قد يتوفر غالبا على ثقب في شكل عنق قنينة تمر عبره المياه لتصل إلى باطن الأرض . وعندما يكون قعر المنخفضات المسطحة عميقا جدا وتكون ذات جدران عمودية ، فإن الجيولوجيين يسمونها آبارا هُوىً أو لججا .

ومناطق التضريس الصلصالي فقيرة جدا من حيث المياه السطحية ، وهي كذلك لا تتوفر على غطاء نباتي، ما عدا في النقط المنخفضة التي تودع فيها المياه المواد التي تنقلها . وتمتد هذه المنخفضات ذات القعر المسطح أحيانا ،على مساحة يبلغ عرضها مئات الكيلمترات، وتعرف بالسهول. وتكون في بعض الأحيان، مغمورة بالمياه التي تتجمع على شكل بحيرات ومستنقعات .

ويعتقد بعض الجيولوجيين، أن المنخفضات المسطحة والسهول هي أشكال متحجرة. أي أنها تكونت خلال عهود بعيدة كانت فيها المياه وافرة في مناطق التضريس الصلصالي . وإذا سلمنا بهذه الفرضية ، فيمكن أيضا الاعتقاد بأنه خلال العهود الغابرة ،كان التضريس الصلصالي مجالا توجد فيه أنهار متعددة حفرت أودية وتجري مياهها على السطح لأن الطبقة المائية كانت قريبة جدا من مجاريها . وعلى إثر تغير المناخ ، قلص من التساقطات وانخفض حقل الماء الجوفي ، مما أدى إلى تبلل التربة وبداية عملية الانحلال الكيماوية .

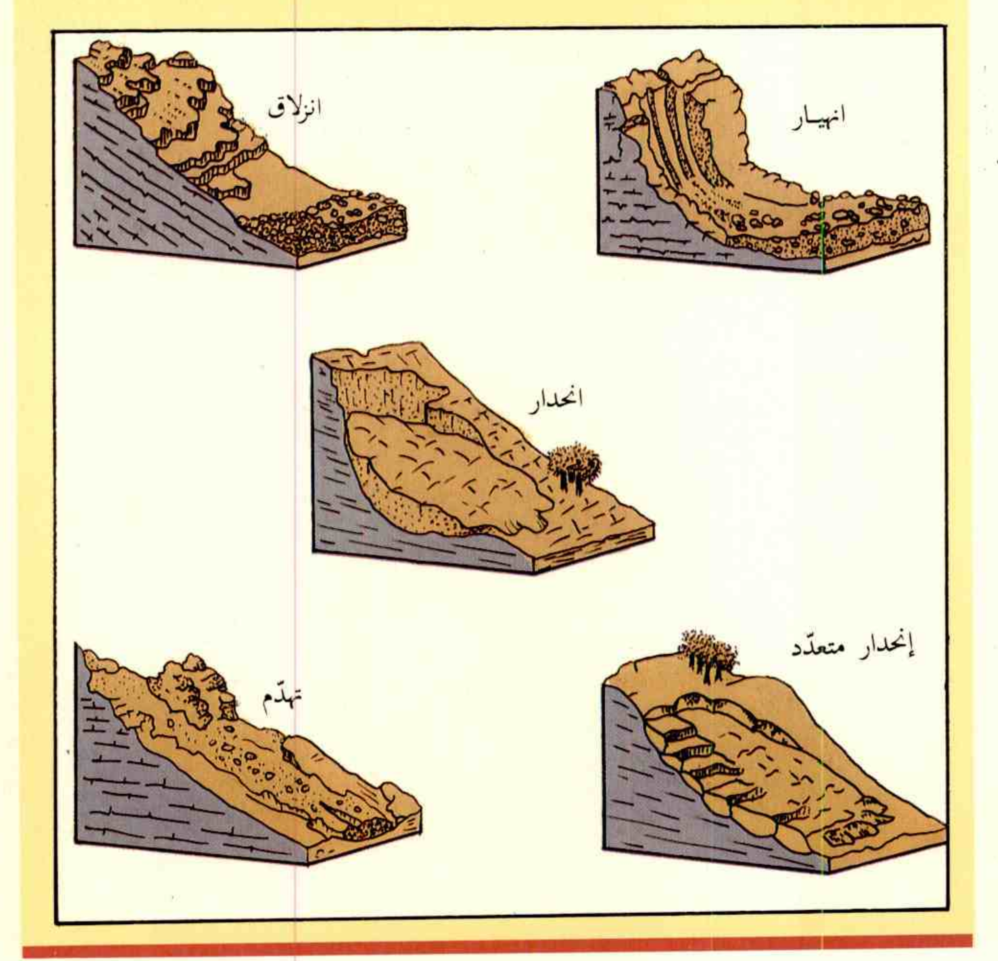
وفي الوقت الراهن ، تعتبر أنهار التضريس الصلصالي من نوع خاص ، ذلك أنها ذات جزء سطحي وجزء باطني . ومن الأمثلة النموذجية لهذه الحالة نهر تيمافو المنطلق من جبل دليتفو . فبعد جريانه على السطح طوال 55 كلم ، يختفي في مغارات سان كانزيانو حيث يجري على طول مسافة 40 كلم قبل أن يظهر ثانية على بعد 300 متر من بحر الأدرياتيك . وهو ذو مصب غريب. حيث يقع مجراه على خمسة أمتار تحت مستوى البحر، وتنفذ مياهه إلى البحر عبر بعض الشقوق الجوفية .

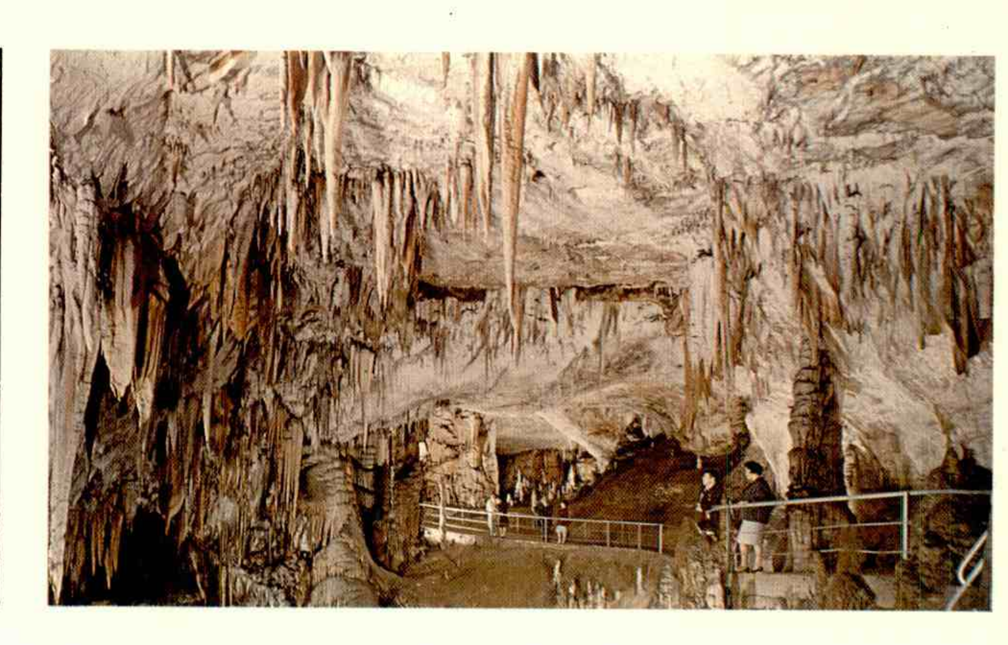
## لماذا تحدث الانهيارات ؟

### الانهيارات

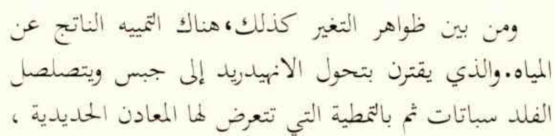
تؤثر ظاهرة الحت الكيماوي كذلك في ظاهرة انحلالية أخرى تحدث في مناطق التغير ، وهي ظاهرة الانهيار ، وهي تعني انقلاع وسقوط كميات هائلة من المواد الصخرية . وأسباب هذه الظاهرة ، بالاضافة إلى ظواهر التضريس الصلصالي المرهونة بتسرب المياه والانحلال ، متنوعة ، ومنها طبيعة الصخور نفسها والتي قد تكون على شكل طبقات متعاقبة مع مواد لدائنية أو صلبة ، ثم تنضّدية المواد وقدرة امتصاص المياه ، ومفعول التجمد، وذوبان الجليد، وتعاقب التجفيف والترطيب أو التعرية والانكشاف الصادرين عن المياه النهرية .

وتصنف أشكال الانهيار حسب العوامل التي تسببت فيها . فهناك التهدم والانزلاق والسيلان . فالتهدم يتم بسبب الانقلاع المفاجىء لمواد المنحدرات الوعرة ، وهو عادة ما يرجع في الأصل إلى انفصال الصخور . أما الانزلاق فيحدث في حالة تواجد منحدرات مائلة وأراضي مقعرة . ويقع السيلان حين توجد ترسبات غير متجانسة وركامات حطامية . وتتدخل المياه الجوفية لتشكل حاجزا سائلا بين طبقتين، ويفكّك التحامها مثيرا بذلك انفصال الطبقة العليا التي تميل نحو الأسفل عن طريق الانزلاق أو الانهيار .





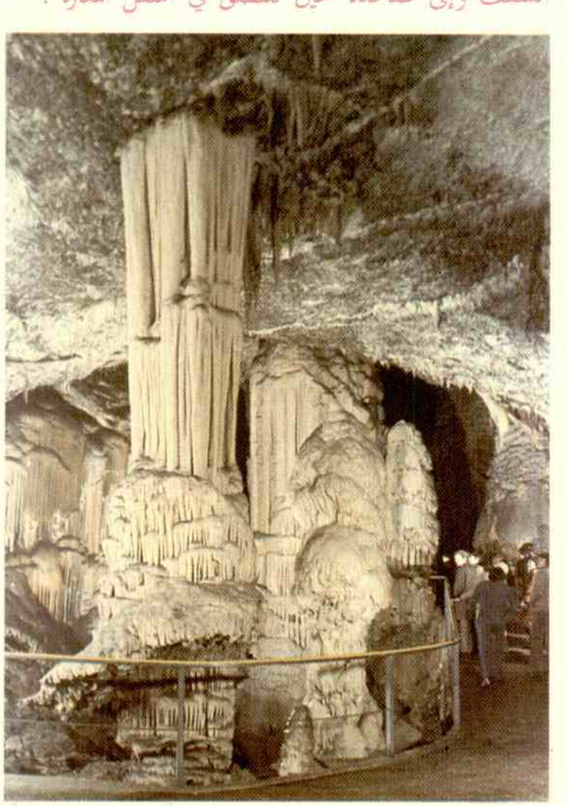
ومن بين ظواهر التغير كذلك، هناك التمييه الناتج عن المياه. والذي يقترن بتحول الانهيدريد إلى جبس ويتصلصل الفلد سباتات ثم بالتمطية التي تتعرض لها المعادن الحديدية ،



من بين الظّواهر الرّسوبية الغريبة ، بعض نماذج الهوابط والصّواعد داخل المغاور التحأرضية . في الصورة أسفله عمود مكوّن من التحام هابطات وصاعدات . وفي الرسم جانبه تيّار تيمافو . ويبيّن الخطّ المتقطّع الجزء التحأرضي للمجرى .

نهر تيمافو : الجزء الجوفي
نهر تيمافو : الجزء السطحي
إيطاليا
يوغوسلافيا

إن المغاور الجوفية غالبا ما تشتمل على تشكّلات ناتجة عن ظاهرة الترسّب التي تصدر عن المياه ، وتعرف بالهوابط والصّواعد ، وهي رواسب كلسيّة متحجّرة في سقوف وأرضية تلك المغاور . في الصورة جانبه نماذج منها ، والرّسم أعلاه يبيّن سيرورة تشكّلها : ذلك أنّ الماء ينفذ إلى المغارة ويؤدي تبريده إلى تحوّل موقّت لثاني كربونات الكلسيوم المحلّل إلى كربونات الكلسيوم الغير القابل للحلّ . وبعبارة أخرى يصير الماء صخرة كربونية تحولّها التّراكمات المتعاقبة إلى هابطة حين تبقى معلّقة في السقف وإلى صاعدة حين تلتصق في أسفل المغارة .



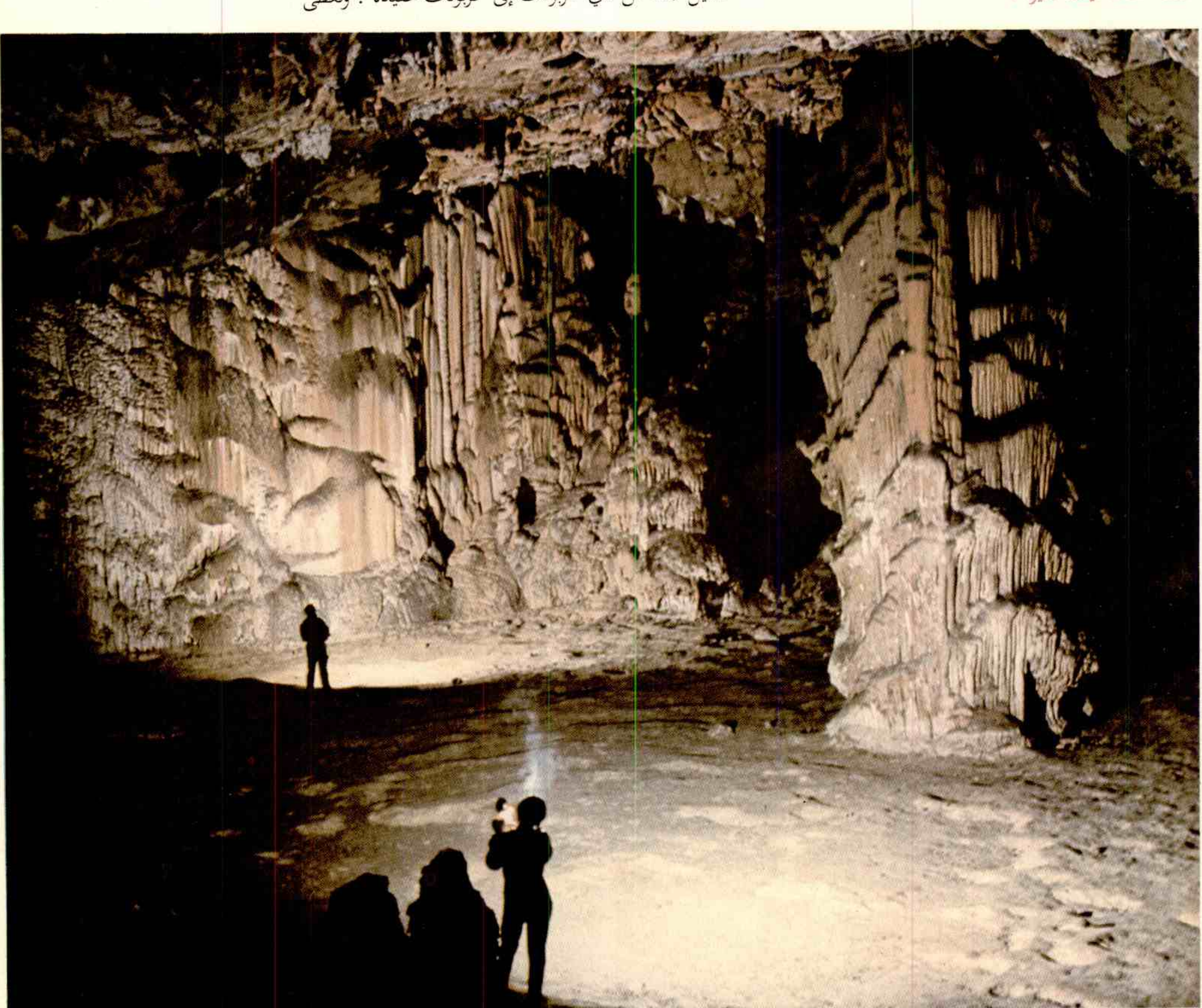
كما هو الشأن بالنسبة لكربونات الحديد التي تتحول إلى أوكسيد ثم ليمونيت .

وفيما يخص ظواهر الايداع ،فهناك تفسير أساسي يمكن الانطلاق منه لفهم آليتها . فالماء يقوم عادة بحل العناصر الملحية،ونقل أملاح الصخور ، وهذه القاعدة تحتمل كذلك استثناءات ، وهذه الاستثناءات هي التي تتمثل في التحجر والرسابة والهوابط والصواعد .

والتحجر هو استبدال مواد عضوية حيوانية أو نباتية بمواد معدنية موجودة في المياه . فهناك جذور وجذوع متحجرة ،كما هو الشأن بالنسبة لغابة أريزونا المتحجرة . أما الهوابط والصواعد فهي نتاج عملية بنائية تقوم بها المياه عن طريق التقطر . فالصخور الصلصالية تخترقها المياه الكربونية التي ترشح من الشقوق داخل إحدى الكهوف بسبب تشبع ثاني كربونات الكلسيوم الذي تحتوي عليه . ونظرا لانخفاض الضغط هناك، وارتفاع الحرارة ، فإن المياه تفقد جزءا من أنهيدريد كربونها ، مما يؤدي إلى إعادة تحول جزء ضئيل جدا من ثاني كربونات إلى كربونات عقيدة . وتغطّى

## كيف تتشكّل الهوابط والصّواعد ؟

عندما ينفذ الماء إلى الأرض يصادف موادّ هشّة مثل الصّلصال ، فتتضاعف عملية حتّه لها وتؤدي إلى تشكّل مغاور ذات مقاييس هائلة ممتلئة بالهوابط والصّواعد والأعمدة والانثناءات . وفي المغارة التي تظهر في الصورة أسفله هناك أيضا بحيرة .



القطرات التي تسيل داخل المغارة بقشرة رقيقة من الكربونات العقيدة ، ويبقى جزء منها شبه ملتصق بالصخرة بعدما تسقط على الأرض . ولنتخيل أن عدة ملايير من القطرات ، تسيل خلال قرون وقرون لنفهم كيف تشكلت هابطة كانت في البداية على شكل مخروط مقعر فأصبح فيما بعد متماسكا ومتراصا . وعندما ينسدّ التجويف ، يكون على المياه التي كانت تسيل داخله ، أن تسيل على طول الجدران مضاعفة بذلك حجم المخروط .

وتحدث نفس الظاهرة في الأرض حيث يودع جزء من الكاربونات العقيد الذي لم يلتصق بالصخرة الفوقية ، ليشكل تدريجيا صاعدة ، ومع مرور الزمن، يميل المخروطان إلى الالتقاء ، فتتكون منهما صفوف أعمدة هائلة ذات منظر بديع .

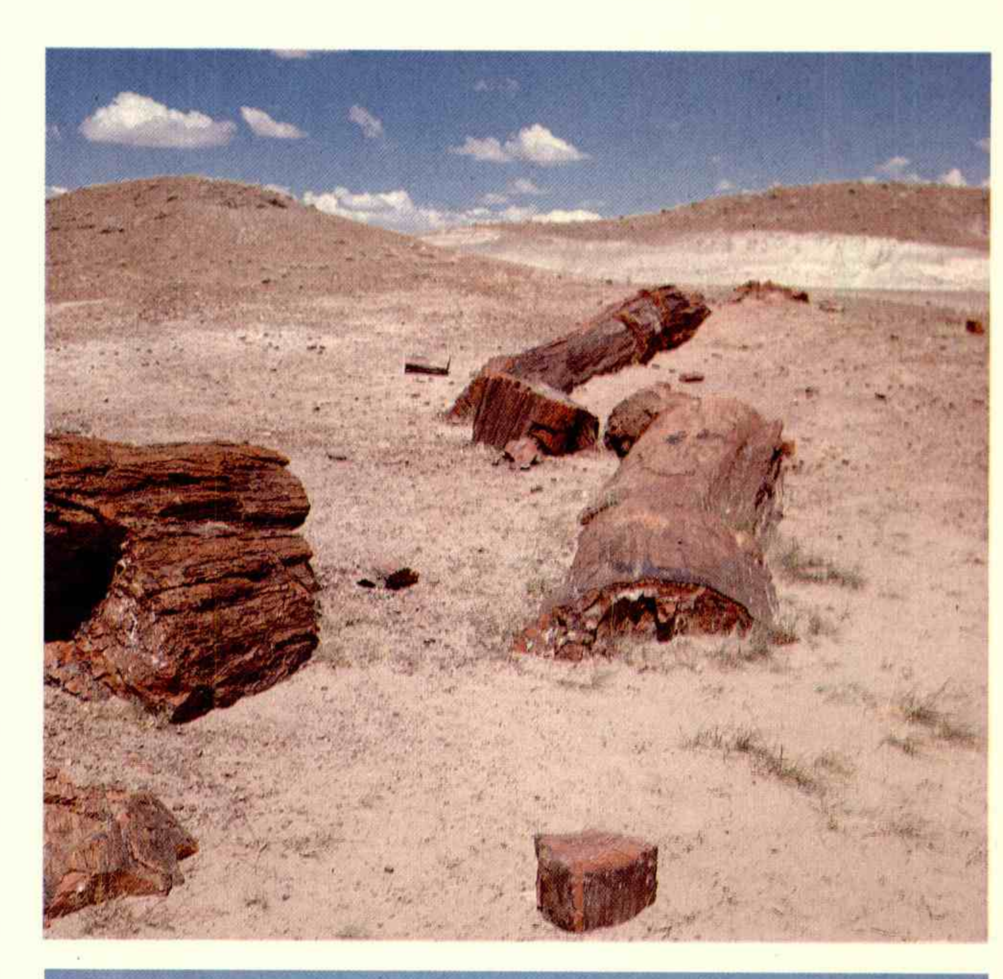
وعندما تسيل المياه الكربونية بوفرة على طول جدران المغارة ، تتكون هناك تلبيسات تكون على شكل تشكلات صخرية متموجة تكون أحيانا متعددة الألوان، ورائعة المظهر .

أما الرسابات فهي ظواهر تنتج عن تأثير المياه الكربونية على حبات الرمل المغطاة بقشرة دقيقة من الكربونات العقيدة . وتصنف حسب الشكل الذي تتخذه ، حيث نجد هناك السرئيات والصروج و « الملبسات » ومن أشهرها ملبسات تيفولي .

وتضاف إلى هذه الظواهر كلها ظاهرة السَّمْنَتة التي سبق التعرض إليها سابقا بمناسبة الحديث عن القشرة الأرضية ، والتي تتجلى في الركامات المسننة والحشدات والحُتّ .

**المياه الجوفية :**

إن جزءا من المياه التي تنفذ إلى الأرض تمتصها النباتات ، ويهبط جزء آخر منها إلى الباطن من خلال مسام وشقوق الطبقة الصخرية ، إلى أن تلتقي بطبقة كتومة التي تحصرها وتحتفظ بها مدة من الزمن خارج دورة المياه العامة . ويبلل بالماء جزء التربة الواقع عند الحد الأسفل للطبقة





تتجلّى ظاهرة الابداع النّاتجة عن عملية المياه ، في التحجّر والتصخّر ، أي تعويض موادّ عضوية حيوانية ونباتية بموادّ معدنية تشتمل عليها المياه نفسها . والغابة المتحجّرة في أريزونا (الصورة 1) من النّماذج الشّهيرة إلى جانب غابة فارنا ببلغاريا (الصورة 2) .

الكتيمة ، وينتهي به المطاف إلى التهدّب نحو الأعلى تحت تأثير الجاذبية الشعرية . وتعرف هذه المنطقة بحقل الماء الجوفي . وغالبا ما تميل المياه إلى التمركز في المناطق المنخفضة . وبفعل قوة الجاذبية ، تدور وتجري في جوف الأرض بسرعة،تختلف حسب درجة انحدار التربة،ومقاييس الحبيبات الصخرية ، إذ كلما كانت هذه الأخيرة دقيقة ، كلما تضاعفت مساحة الاحتكاك وانخفضت سرعة تدفق المياه وسيلانها .

والمستوى المعصاري أو الضغطي ، هو المستوى السطحي لحقل الماء الجوفي ، وهو في أغلب الحالات مرتبط بتغيرات دائمة ، ومرهونة بوفرة أو ندرة التساقطات . ويمثّل حقل الماء الجوفيّ مدخرا مهما بالنسبة للزراعة،وهو يستعمل بواسطة تصريف المياه عن طريق الآبار التي تكون بمثابة نقط التقاط الماء . والمشكلة الأساسية التي ما فتئت تعترض الانسان ، هي كيفية الحصول على الماء في بلد قليل الأمطار

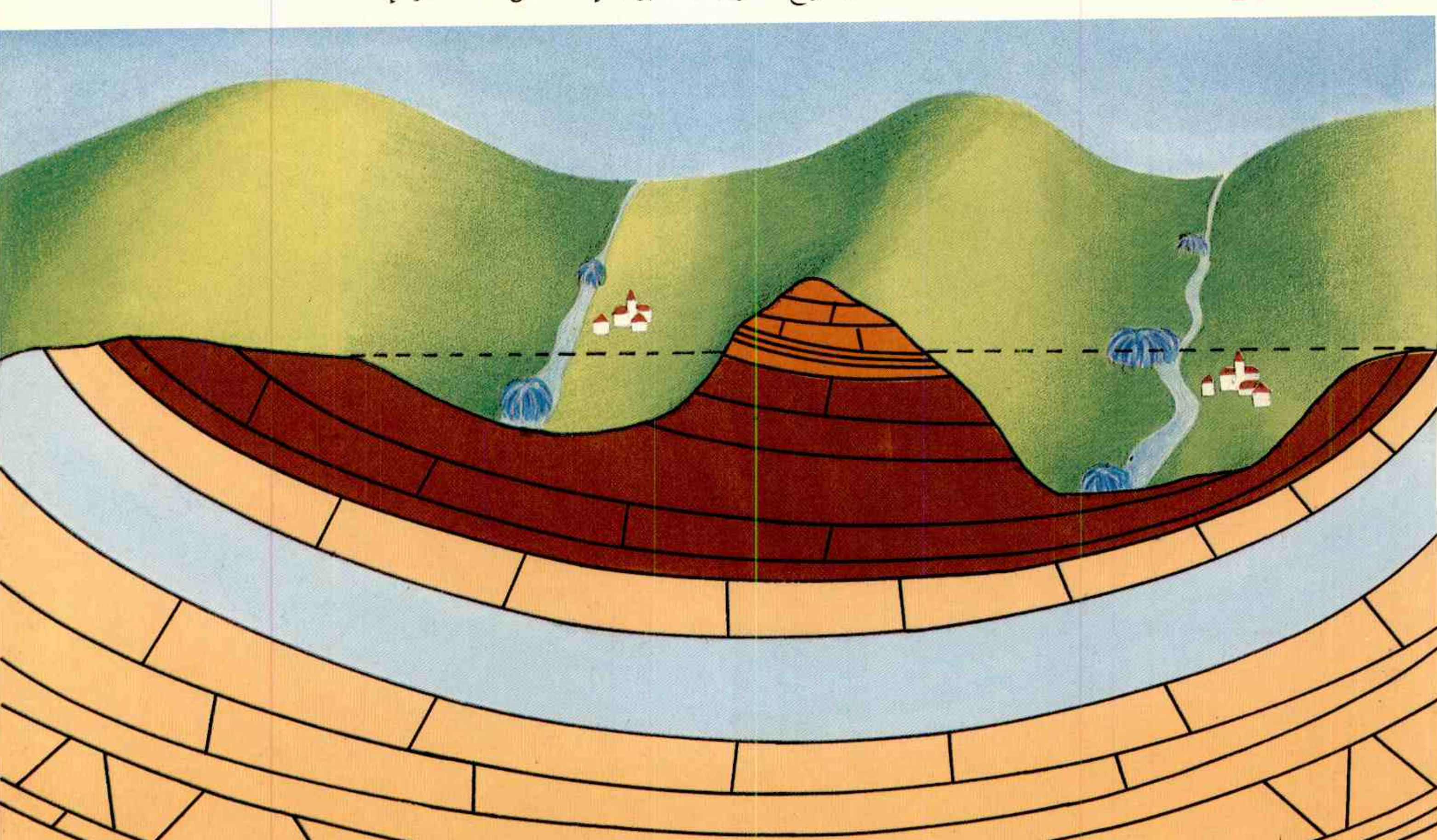
الرسم أسفله يبيّن حوضا أرتوازيا . والينابيع الأرتوازية كما يظهر في الرسم تتدفّق نحو السّطح حيث الأرض دون مستوى امتلاء الحوض .

أو منطقة يكون فيها التبخر شديدا . وقبل ثلاثة آلاف سنة ، تمكن العراقيون القدماء، من إيجاد حل ملائم لهذا المشكل ، إذ كانوا يبنون قنوات تحأرضية تستغل قوة الجاذبية لتجلب ماء الحقول الجوفية من أعالي الهضاب إلى الأراضي الخصبة الصالحة للزراعة ، وذلك لحفظها من التبخر . وما زالت هذه التقنية العتيقة مستعملة في الهضاب الايرانية العليا .

وهناك نوع آخر من الحقول المائية الجوفية،ينشأ عن انحباس الماء في السطح بواسطة طبقة صخرية عقيدة تمنعها من التدفق نحو الخارج . آنذاك يتكون حوض ارتوازي تتحرك مياهه بالضرورة ما بين طبقتين عقيدتين ولا تخرج إلى السطح،إلا إذا كان هناك شق . وإذا كان هذا الشق عند مستوى صفحة المياه الجوفية ، أي الواجهة العليا للطبقة — عند ارتفاع يقع دون منطقة التموين — فإن الماء يقذف إلى أعلى لأنه يحاول أن يبلغ مستوى الصفحة الجوفية لمرفد الماء .

وغالبا ما تكون حقول المياه الجوفية مرتبطة بتواجد الكتل المائية السطحية والاقتراب من البحار . فعندما يكون حقل جوفي على مقربة من المياه النهرية ، فإن مستوى مياهه يتبع غالبا تموج مستوى مياه النهر . فإذا انخفض هذا الأخير فإن

ماذا يحدث في المياه المتسربّة إلى باطن الأرض ؟

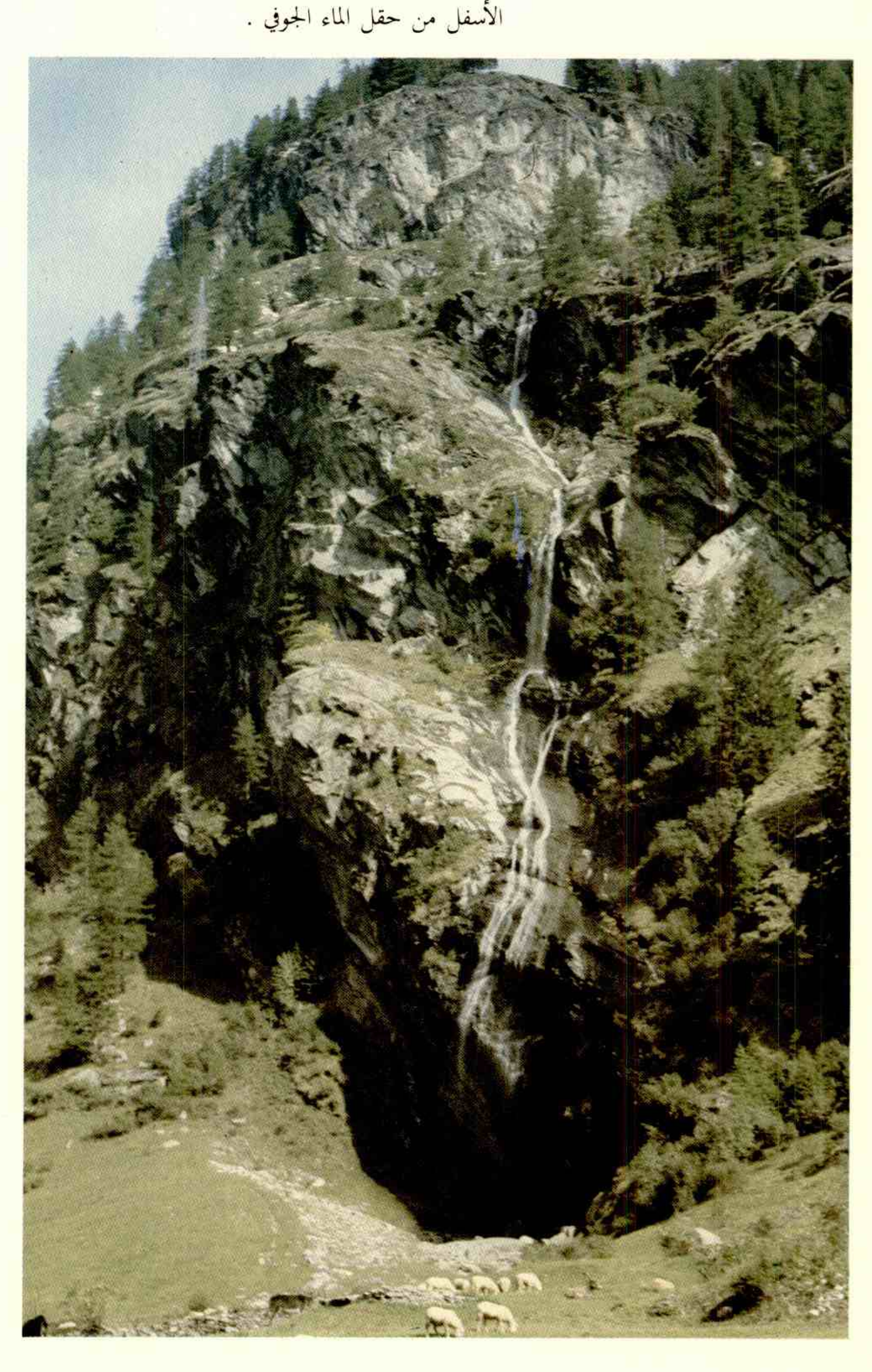


## كيف تتكوّن الينابيـع ؟

مستوى المياه الجوفية كذلك يتبع مجراه ثم ينخفض . ويحدث في أغلب الأحيان أن تتشكل حقول المياه الجوفية تحت مستوى مجرى أحد الأنهار ، فتصبح عبارة عن مخزون مهم ينفع في فصول التحاريق . وإذا كان حقل الماء الجوفي على مقربة من البحر وكانت صخوره كتيمة ، فإن مياه البحر تتسرب إلى الأراضي ولكنّها لا تمتزج بالمياه العذبة لأن كثافة هذه الأخيرة تدفع مياه البحر إلى أن تغطيها في الجزء الأسفل من حقل الماء الجوفي .

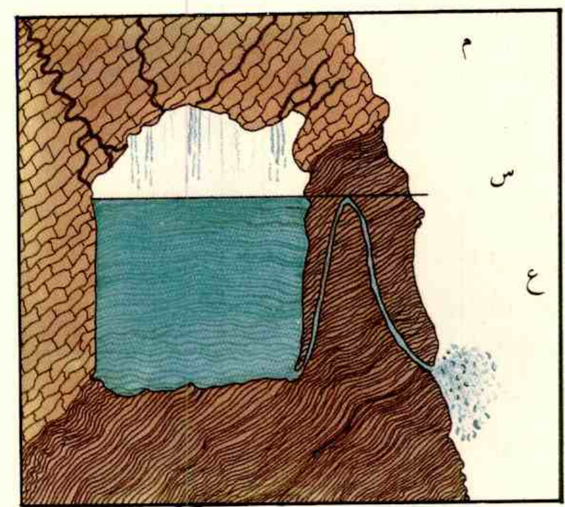
**الينابيع :**

تختلف أنواع الينابيع حسب طريقة تدفق مياهها . فإذا اخترق حقل الماء الجوفي سطح الأرض ، فنحن إزاء عين تسوية . ويمكن لهذه التسوية أن تحدث على سطح متاكل كما هو الشأن بالنسبة لمنحدر واد أو سفح هضبة ، حيث تسمى بعين المنحدر . كما يمكن أن تحدث في الأماكن التي تم بها تراكم المواد النفيذة وتدفق الطفح أو الجرافات أو مخروطات المقذوفات ، وفي هذه الحالات يسمى النبع بعين التدفق . ومن الأمثلة النموذجية لهذه الأنواع نذكر الينابيع المنبثقة في سهول بادان بشمال إيطاليا التي تنفجر على طول خط التماسّ ما بين المواد الخشنة للمخروطات الطميية المسطحة وطين ورمال السهول ، ويسميها الخبراء بالعيون الارتوازية الموهمة لأنها تمتاز بارتفاعها . وغالبا ما تكون هذه الينابيع غزيرة بحيث تنتج عنها أنهار حقيقية . ويصنف بعض العلماء الينابيع كذلك إلى ينابيع المجرى التي تنفجر في قاع الأودية وتخترق الطبقات الحتاتية المسامية المكونة للايداع الطميي ، وينابيع الطفح أو الفيضان ، التي تنتج عن امتلاء الغرف التي تتجمع بها المياه ثم على إثر تسرّبها إلى الطبقات السطحية ، وينابيع السد الناتجة عن التقاء الماء بحاجز يمنعه من مواصلة مجراه ويرغمه على الصعود إلى أعلى ثم التدفق ، ثم ينابيع الشقوق وهي تتدفق من الشقوق التي تكتنف الصخور . وهناك أيضا ينابيع التضريس الصلصالي التي تتكون في الأراضي الصلصالية التي تتأثر كثيرا بمفعول المياه الكربونية . وفي هذه الأراضي ، لا تتدفق المياه سطحيا ، ولكنها تكون سبكات جوفية تنشأ عنها ينابيع بكيفيات تختلف حسب بعض العوامل ، كدرجة نضج وتقادم الشبكة الجوفية ، إذ تكون عيون قمة في مرحلتها البدائية وعيون سفح في مرحلة متقدمة وقد تكون أحيانا تحمائية ، ثم الطبيعة الجيولوجية للكتل الصلصالية ، ذلك أن طفاء الصلصال يبطىء أو يسرّع ظاهرة التجوف ، ثم تواجد أو غياب طبقة صخرية لا تتأثر بالتشقق ، وأخيرا نوع التشقق السائد هناك . وغالبا ما تكون ينابيع التضريس الصلصالي غزيرة المياه .



لكي يتكوّن المنبع ، لابدّ أن يوجد هناك حقل مائي جوفي بين طبقتين صخريتين كتومتين . لكنّه عندما يصادف الحقل بعض الحواجز ، فإن الماء يضطرّ إلى اتّخاذ وجهات إجبارية والانبجاس نحو الخارج . وأبسط من ذلك ما تمثّله حالة التّسوية التي يتعرّض لها سطح متآكل . في الصّورة جانبه ، منبع في سطح أحد الأودية .

كم عدد أصناف الينابيـع ؟




الرسم أعلاه يبين بكيفية مبسّطة تكون منبع متقطّع : م : المنحنى الذي على الماء تجاوزه لكي ينبجس . س . المستوى الذي على الماء أن يصله ، ع : العين .

وعندما يكون حت التضريس الصلصالي في مرحلته البدائية ، فكثيرا ما توجد عيون متقطعة ، وهي عبارة عن تجويفات عمودية تتصل بالخارج بواسطة أنبوب طبيعي ينثني في طرفه الأعلى . وحين تتضاعف كمية الماء الموجودة في التجويف ، إلى درجة تنفذ معها إلى القناة ثم تصل إلى قمة الانثناء ، فهي تقذف إلى الخارج إلى أن ينخفض مستوى الماء الموجود في التجويف . وإذا سلمنا بأن تدفق الماء في التجويف منتظم ومتواصل ، فإنه من البديهي أن فاصلا زمنيا يكون ضروريا ما بين تدفق وآخر ، ويكون ذلك الفاصل قارا . وخير مثال للينابيع المتقطعة ، عين كولمار بفرنسا التي تتفجر بانتظام ثمان مرات في الساعة . وهناك نوع آخر من الينابيع يعرف بالعيون الجليدية لكونها صادرة عن ذوبان المجلدات . وهي عيون دائمة لأن الجليد الذي يذوب ببطء ينفذ إلى التربة بشكل أعمق من ماء المطر .

**الاراضة الدينامية للمياه الجارية :**

إن المياه الجارية هي المياه الصادرة عن التساقطات الجوية بصفة عامة ، والتي تسيل على عدة أشكال بدء بالمياه الظرفية وانتهاء بمياه الأنهار . وسوف نرى فيما يلي نشاط مياه الأمطار المعروفة كذلك بالمياه المُسِفّة أو المتوحشة . ثم ندرس النشاط التحويلي للمياه السائلة في مجرى قار .

الرسم أسفله يبيّن أصناف الينابيع العادية .

منبع السدّ
منبع السفح
منبع المجرى
منبع الطّبقة
منبع الاتّصال
منبع الغطاء

**الينابيع الحارة والمعدنية :**

هناك عيون ذات مياه معدنية حارة لا تختلف عن الينابيع السابقة الذكر من حيث نشأتها ، ولكنها تتميز بكون مياهها ذات حرارة مرتفعة بالنسبة للوسط الذي تنبع فيه . وهي ترجع في غالب الأحيان إلى ظواهر بركانية كما توجد خارج هذه الظواهر . وتعرف المياه ذات الأصل الثقلي بالمياه الفتية ، وهي صادرة عن بخار الماء الغني بأنهدريد الكربون إذا لم تصعد من خلال شقوق القشرة الأرضية . أما المياه الحارة المعروفة بمياه التسرب ، فتكون ساخنة لأنها تلامس السطح بعد أن قطعت مئات الأمتار تحت الأرض ، وكما هو معلوم فإن درجة حرارة التربة ترتفع هناك بثلاث درجات مئوية كل مائة متر ، وترجع حرارتها كذلك إلى ملامستها لكتلة ثقلية في طريق التبريد .

وليس من السهل التمييز بين المياه الفتية ومياه التسرب مع أن المياه الفتية تتميز باحتوائها على المزيد من أوكسيد الدوتيريوم أو الهيدروجين الثقيل .

ومن أنواع المنابع كذلك ما يعرف بالمياه المعدنية التي تحلل فيها مواد صلبة أو غازية . وكلنا يعلم أن الماء ذو قدرة تحليلية وهو غير صاف أبدا لاحتوائه ما بين 1 ،0 و 5 ،0 غرام من المواد الصلبة في كل لتر ، وتتمثل هذه المواد في أملاح الكلسيوم ، حيث يسمى الماء صلبا حين يحتوي على كمية وافرة من الكلسيوم .

وتكون المياه المعدنية ملحية حين تشتمل على كلورور السوديوم ، وكبريتية عندما تحتوي على الهيدروجين المكبرت ومحمضة حين تكون غنية بالحمض الكربوني ، ومرة عند احتوائها لأملاح المغنيسيوم .

وبالنظر إلى زوبها من الماء الذي تقذفه بعد جريان طويل تحت الأرض ، فإن الينابيع مرتبطة بمياه الحقول الجوفية . فإذا كانت مؤقتة ، أي فصلية أو دورية أو سريعة الزوال ، فإن حوض الخزن يكون صغيرا أو سطحيا ، أما إذا كانت دائمة ، إما قارة أو متغيرة ، فهي ذات حوض عميق وتسيل ببطء .



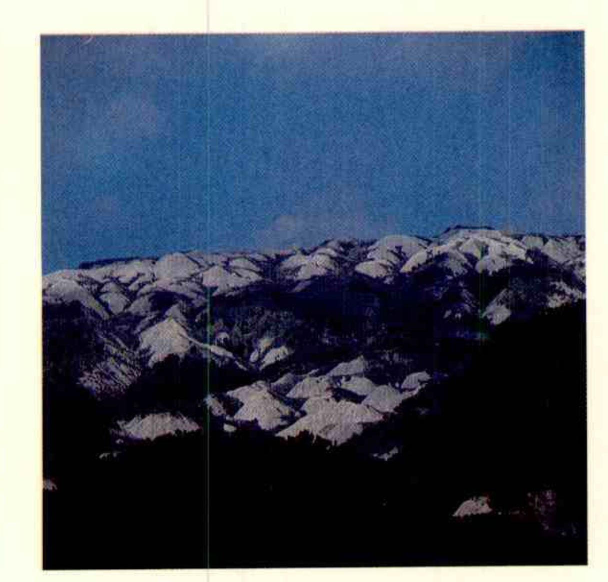
وتجدر الاشارة إلى أن عمل المطر آلي بالدرجة الأولى . فسرعة وعنف سقطة القطرات تتولد عنها حركات مباغتة لا تفسح مجالا للظواهر الكيماوية . وأول عملية يقوم بها ماء المطر : الضرب . وذلك حين تقوم كل قطرة بالارتطام بعنف بسطح الأرض لتحمل معها الجزئيات الحتاتية . ويتم مفعول الاقتلاع الأقوى خلال بداية التساقطات ، قبل أن تتمكن المياه من تشكيل صفحة شفافة على السطح . وحين تفلح التربة المبللة في منع الاقتلاع . آنذاك وبعد تكون الصفحة ، يشرع الماء في الجريان بحرية ليشكل بعد ذلك جداول صغيرة تتجمع فيما بعد على شكل جداول حقيقية . وفيما يتعلق بظاهرة الاقتلاع، فمن البديهي أن التربة المجردة من غطاء نباتي ، تكون أكثر عرضة للحت ، وذلك على غرار التربة المحببة كالرمل الدقيق ، والجمعر والحتات الطمبي . وهذه الأنواع من التربة تتاكل بسهولة وتكوّن منحدرات تكون تضاريسها مشقوقة بعمق،وتكثر بها أخاديد تفصل بينها صفائح صخرية متاكلة . وتعرف هذه الأخاديد بالأجوان الصخرية ، وتوجد بالأساس في السفوح الجنوبية أو المهواة.والتي يجفف فيها الطين ويتصلب تحت تأثير الشمس والبرد . أما في السفوح الشمالية ، فإن نقص التبخر ، يجعل الأخاديد تتسطح ويتلف التاكل جنباتها . وبنفس الطريقة، تنشأ أخاديد في المخروطات البركانية المكوّنة من مواد غير متجانسة ، وهي أخاديد تتشعب على جنبات الفوهة وتعرف بالوهاد البركانية .

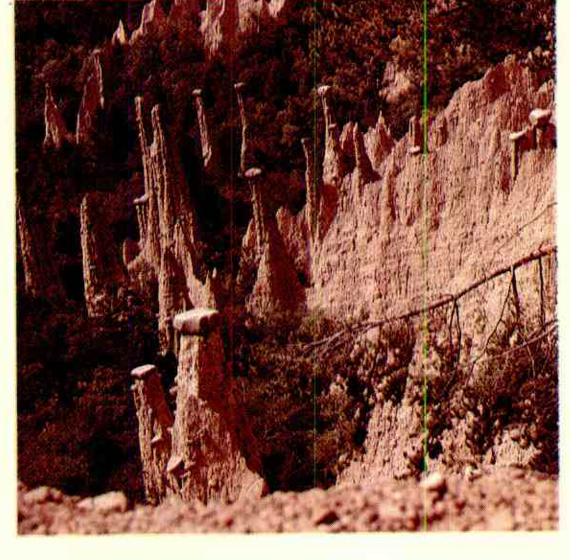
وإذا كان التشكل الطبيعي للتربة ،يمثل اختلافات على مستوى تكون الصخور من المواد غير المتجانسة كالجرافات الجليدية مثلا ، فإن المواد الأكثر ضخامة بإمكانها حماية المواد الأصغر حجما والموجودة تحتها من تأثر ضربات المطر ومن السيلان . أما الكتلة الصخرية الموجودة فوقها والتي تضغط على الجزء الأرهف فتقوم بتحريف مجرى المياه الحاتة ، ومع مرور الزمن ، تنعزل عن الجزء المحيط بها،والذي تتخلله أخاديد متفاوتة العمق . وهكذا تنشأ تشكلات مخروطية غير قارة يكون جزؤها الأسفل أصغر من جزئها الأعلى المكون عادة من صخرة كبيرة . وتسمى هذه الأشكال بأهرام التراب أو دعامات التاكل.وهي تستمر كذلك إلى غاية سقوط الصخرة .

وتوجد كذلك أشكال غريبة تتكون من المواد الهشة أو القابلة للذوبان المتعرضة للضرب والتفتيت من قِبَل المياه . وهي تتخذ أشكال حيوانات أو رسوما كاريكاتورية للآدميين .

وللمياه كذلك تأثير كيماوي على الصخور الصلصالية أو الجبسية ، حيث تشكل مجروفات تتمثل في أخاديد

لماذا تكون خواصر الجبال في أغلب الأحيان محزّزة ؟



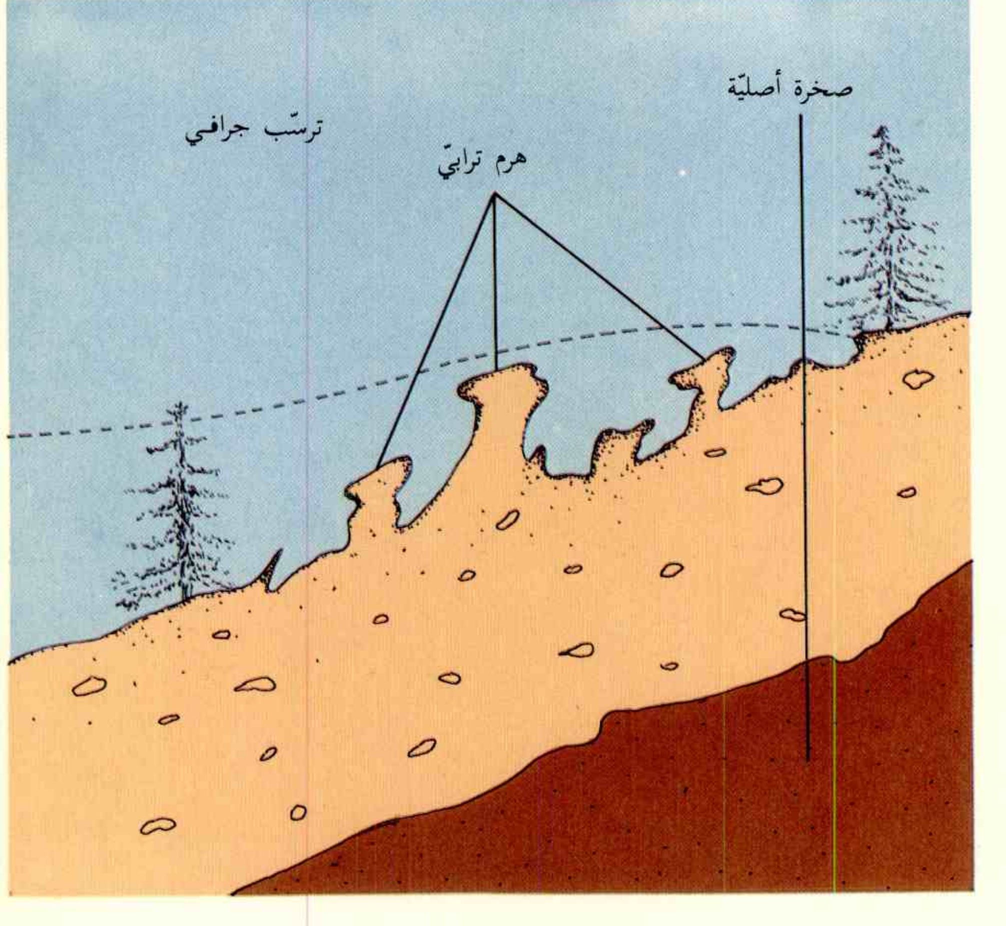


الصورة أعلاه : اجوان طِينية غريبة في إيطاليا قرب شيانسيانو . وتنشأ الأجوان عن عملية الحتّ التي تقوم بها المياه على خواصر التّضاريس التي تفتقر إلى غطاء نباتي . في الصورة جانبه أهرام ترابية رائعة في سيغونزانو بإيطاليا . وتتكوّن الأهرام التّرابية عندما تقوم المياه بحتّ الصّخور التي تتعرّض طريقها . ويتمّ الحتّ في الجزء الأسفل لهذه الصّخور التي تتّخذ شكلا مخروطيا تعلوها حجارة كبيرة غير ثابتة .

متوازية تظهر على شكل أخاديد العجلات المطاطية . وتشبهها في ذلك الحقول الصخرية،والتي تظهر بها خطوط الانحلال . وجميع حركات مياه الأمطار والسيلان،تؤدي إلى جرف الحتات نحو أسفل المنحدر أو سفح الجبل ، حيث تخلّف هناك تشكلات مخروطية تكون قمته في العالية والمواد الأكثر ثقلا في السافلة ، وتعرف بحقول الحُتات .

### الأنهار أو المياه ذات المجرى القار :

النهر أو الجدول من المجاري المائية القارة والدائمة.التي تسيل في واد في مجرى تحده سدود طبيعية . وتتولد هذه المجاري عن عين أو عدة ينابيع أو من بحيرة ، وعن ذوبان الثلوج وسيلانها على الخصوص . ويسمى مجرى الماء سيلا أو حامولة ، حين يكون منسوبه متغيرا ، أي حين يعرف فيضانات وتحاريق قوية . وينقسم النهر عادة إلى ثلاثة أجزاء : وهي المجرى الأعلى ، وهو حوض الخزن ، والمجرى المتوسط وهو حوض الجريان ، والمجرى الأسفل وهو حوض الترسب الذي يستمر إلى غاية المصب . والمجرى الأعلى هو الذي يتلقى مياه الأمطار والينابيع التي تجرها الجاذبية نحو




الرسم جانبه : إن مياه الأمطار التي تجري في اتّجاه الوادي ، تكوّن جداول صغيرة ذات قوة حتّ هائلة . وهكذا تتشكّل أهرام ترابية وترسّبات جرافية قارّة بإمكان الجداول القويّة أو الانهيارات أن تجعلها تتساقط نحو الأسفل .

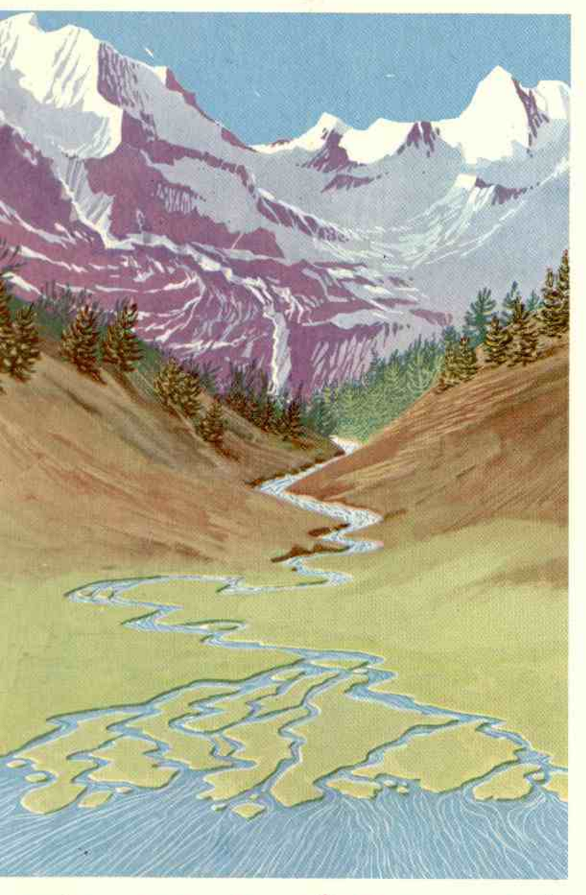
متى يمكن اعتبار مجرى مائي نهرا ؟

الأسفل حيث تتجمع على شكل كتلة سائلة متماسكة ، وفي هذه الحالة يسود الحت العمودي .

ويتعرض الجزء الأوسط إلى تغيرات تؤدي إلى تغير سرعة المياه وقدرتها على الحت ، ذلك أنه في تلك الحالة تلتقي عناصر الجريان الثلاثة وهي: السرعة والحت والايداع . وهذا الجزء هو الأطول في النهر كله ، وينتهي بالتلعة وهي مكان كثير الانخفاض في الوادي حيث تتجمع المياه .

أما الجزء النهائي فيصبح فيه المجرى نهرا كبيرا حين ترتمي المياه في واد أوسع ، ويصبح ساعدة حين ترتمي في بحيرة ، ثم رافدا عندما تصب في البحر . وفي الحالتين الأوليين ، يكون الوادي الموجود تحت تأثير الايداع على شكل مروحة تقع قمتها في عالية النهر ، وتعرف بالمخروط الترسبي .

وغالبا ما يتخذ النهر شكلا مستطيلا متميزا يحد من أعلى بمروحة متساتلة ومن أسفل بمروحة منفرجة ، بينما في الجزء الأوسط تكون الروافد على شكل فروع فوق جذع شجرة ، وتساهم في تحديد الشكل المميز لحوض النهر .





يمكن تقسيم نهر إلى ثلاثة أجزاء : المجرى العالي حيث تحفظ المياه والمجرى المتوسّط ، حيث تجري المياه بسرعة منخفضة ويبدأ تكوّن التعرّجات ثم المجرى الأسفل حيث يتم الترسّب وينتهي بدلتا كما يظهر في الرسم أعلاه . جانبه حوض مائي لأحد الأنهار .

منظر لنهر كولورادو ملتقط بواسطة قمر اصطناعي (لاناز)

### أصل النهر وخصائصه الهيدرولوجيّة :

إن الحوض المائي للنهر هو المنطقة التي تحمل المياه إلى النهر ذاته . ويمكن أن يكون هذا الحوض مفتوحا أو مغلوقا حسب وجود أو غياب مصب بحري . ويكمن الفرق الموجود بين حوض وآخر في مقسم مياه النهر الذي تنطلق منه المياه عند السفحين ، في اتجاه أنهار مختلفة ذات مجاري مستقلة . وظاهريا يمكن تعريف مقسم مياه النهر بكونه خطا وهميا يجمع ما بين القمم العليا للجبال ، لكن ذلك لا يحدث دائما لأن مقسم المياه قد يقع أحيانا تحت أعلى القمم . وعلاوة على ذلك ، فمقسم مياه النهر ليس دائما محددا كما هو الشأن في سهول المنحدر الخفيف .

ويتكون الحوض المائي الرئيسي من مجموع أحواض الروافد

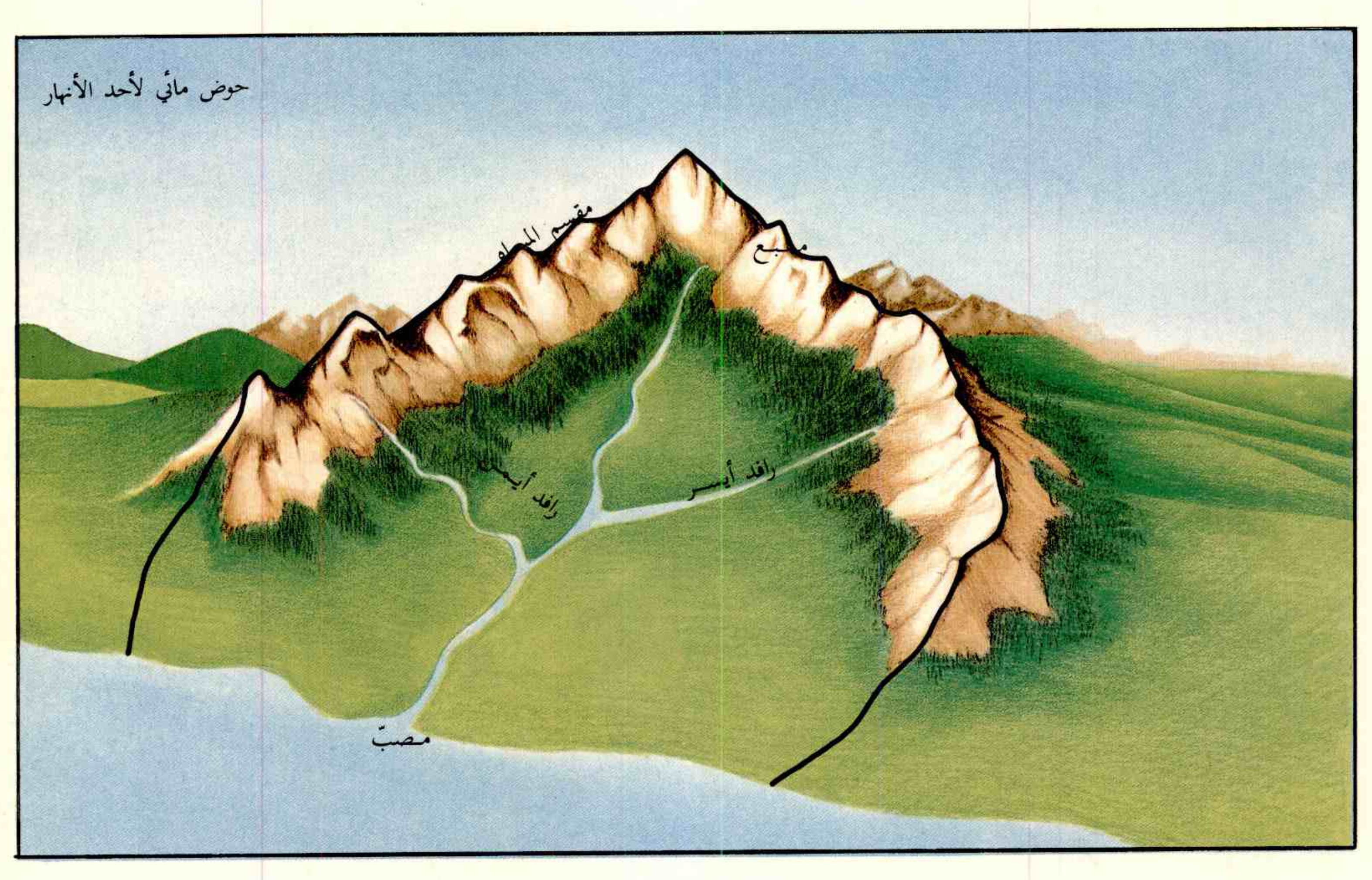
المعروفة بالأحواض الثانوية . وبالفعل فكل نهر يتوفر على حوض استقبال ومجرى متوسط ومصب ، يكون في حالة روافد عند مياه النهر الرئيسي . ويسمى مجموع مجاري مياه الحوض الرئيسي بالنظام النهري ، بينما يسمى مجموع الأنظمة النهرية في منطقة جغرافية ذات حدود طبيعية ، بالشبكة المائية .

وتتميز الشبكة المائية بخصائص محددة تختلف من منطقة إلى أخرى . فمثلا ، إذا كانت الأنهار التي تكونها تميل إلى مد مياهها نحو قعر الوادي ، مشكلة بذلك نهرا ضخما واحدا ، فإن الشبكة تكون متماثلة مع خط الوادي. ويمكن كذلك أن تفترق الأنهار عن محور استطالة مقسم المياه ، وتجرى تعامديا معه إلى غاية مصبها . وعند جريان النهر الرئيسي فوق أراضي نفيذة ،فإن المياه ،الجوفية الواقعة تحت مجراه تضاف إلى كتلة مياهه السطحية ، ويقوم النهر في هذه الحالة بعملية تصريف المياه .

ويجب اعتبار الحوض المائي كذلك من وجهة نظر المناطق التي يتكون منها . ذلك أن طول الأنهار الرئيسية مرهون كذلك بالخصائص المورفولوجية للتربة . ومن ذلك أن آسيا مثلا ،**رقعة أرضية شاسعة ولكنها لاتتوفر على أطول الأنهار ولا على أوسع الأحواض المائية.لأنها مغطّاة في جزئها** الأوسط بالهضاب العليا الجافة والمحبوسة المياه ، المنحصرة بين السلاسل الجبلية البالغة الارتفاع التي تمنع الرياح من النفاذ إلى الداخل لتنقل إليه الأمطار . وبالمقابل، فإن كلا من إفريقيا وأمريكا تتوفران على أطول الأنهار وأوسع الأحواض المائية . وتجدر الاشارة إلى أن الطول لا يتناسب دائما واتساع الحوض المائي ، فنهر النيل الذي يتجاوز طوله 6.000 كلم ، يتوفر على حوض أقل سعة من حوضي نهري الميسيسيبي والميسوري بأمريكا الشمالية ، الذي يمتد على مساحة ثلاثة ملايين كيلمتر مربع . ويمثل نهر الأمازون حالة خاصة ، فطوله يزيد عن 6.000 كلم$^2$ ، ويتوفر على أوسع حوض مائي في العالم تبلغ مساحته 6.120.000

---

في الرسم أسفله يمثّل حوضا مائيا نموذجيا ، إذ يمكن أن توجد بحيرة في الخطّ المتوسّط أو دلتا في المصبّ أو عدّة روافد . يشير الخطّ الأسود إلى مقسم المياه : فمن الواضح أنّ كلّ مياه السفح الدّاخلي تلتقي عند المجرى الرّئيسي ، سواء كانت مياها مطرية أو صادرة عن ذوبان الثّلوج .

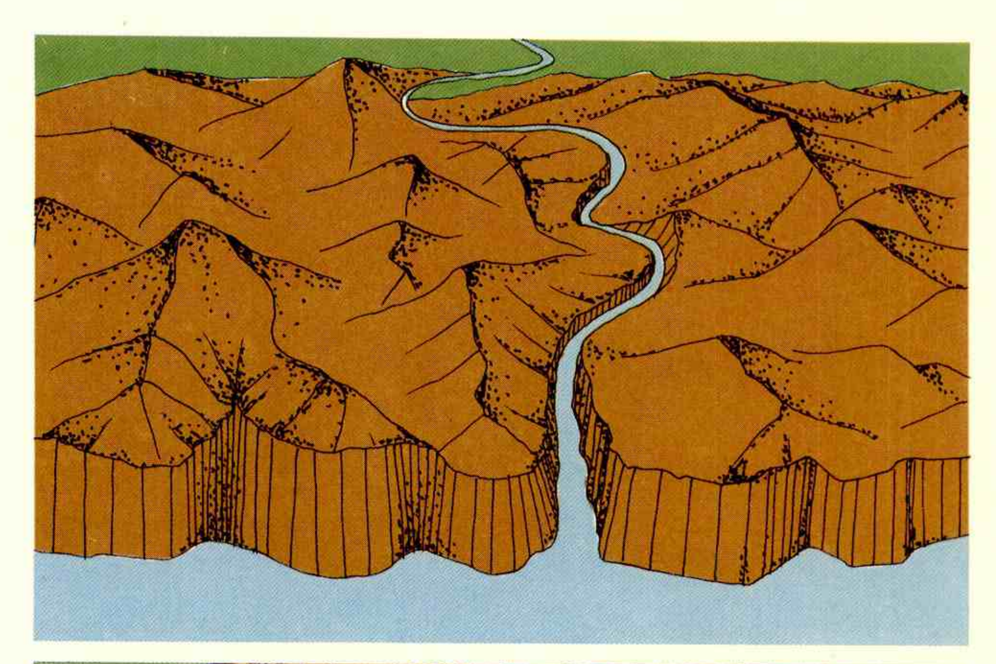


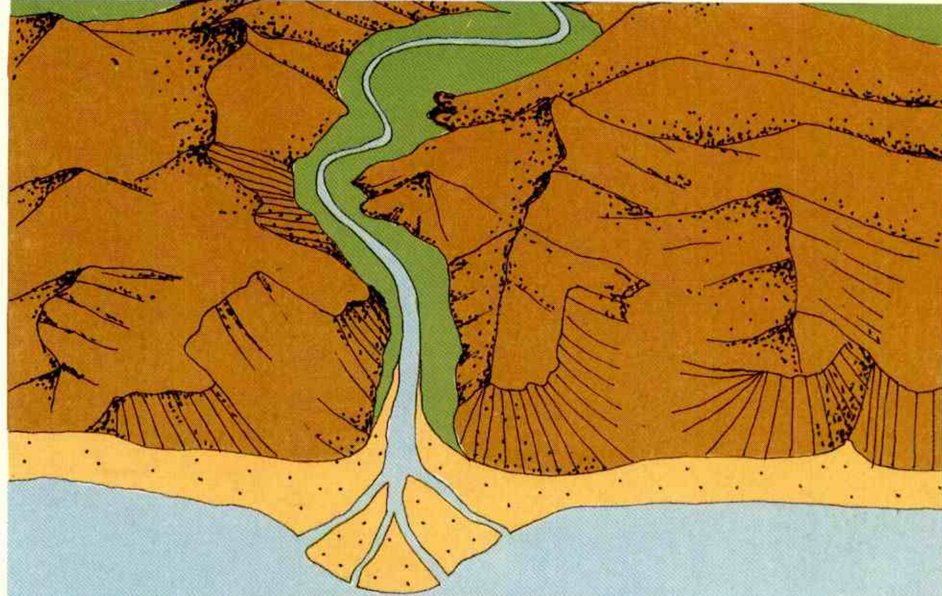
كلم[2]. **ومن بين الخصائص الهيدروغرافية للنهر** ، هناك المنسوب ،ومعامل المنسوب ،ونظام وسرعة المياه ، وهي ما يعرف بالعناصر الهيدرولوجيّة للنهر .

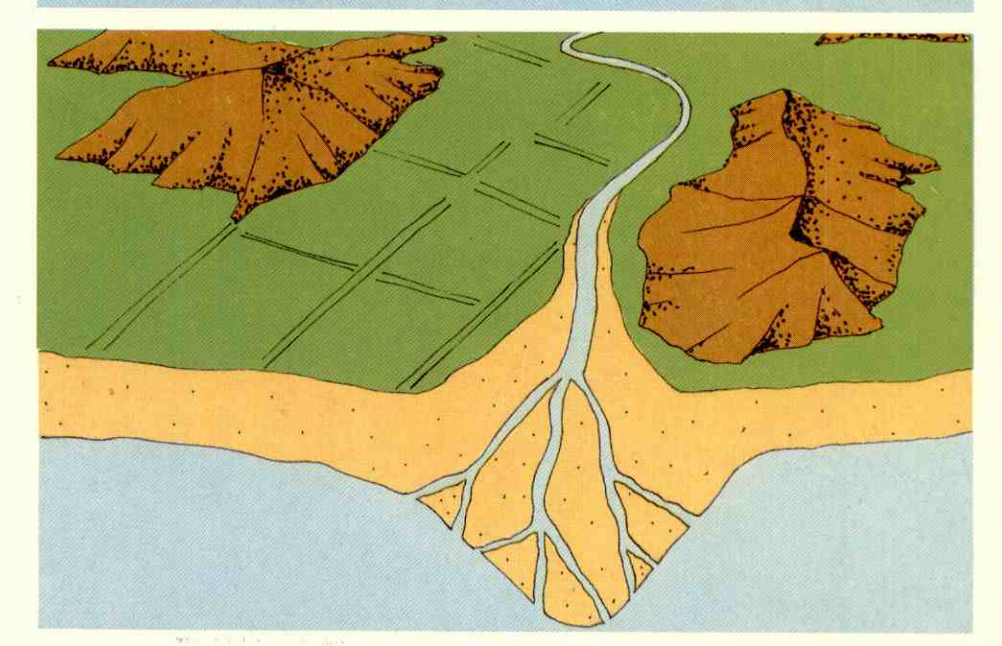
ومنسوب النهر: هو مقدار الماء الذي يمر من مقطعه العرضاني في نفس الفاصل الزمني : ويقاس بعدد الأمتار المكعبة التي تمر في كل ثانية عبر مقطع عرضاني مثالي . وتكون قيم المنسوب غاية في التغير سواء من حيث المكان أي مستوى النهر الذي يتم فيه القياس ، أو الزمان أي فترات الفيضان والضحل التي يعرفها النهر . وعادة ما نتحدث عن منسوب النهر المتوسط أو معاير عندما يتم القياس على مقربة من المصب سواء كان في البحر أو بحيرة أو في نهر آخر .

وبكتسي معامل المنسوب أهمية قصوى في تحديد نقطة تلاقي العوامل المحيطة في منسوب النهر . ويتعلق الأمر بالعلاقة بين مقدار التساقطات المسجلة في فترة معينة ومقدار المياه المنقولة بالفعل عبر الأنهار . ومن البديهي أن **الغطاء النباتي والتبخر ونفوذية التربة كلها عوامل تحول دون وصول كمية كبرى من المياه إلى النهر والبقاء فيه.ذلك أننا نجد معاملات منسوبية تصل 90% في المناطق الباردة ذات** التربة الكتيمة كما هو الشأن في الألب ، ومعاملات تصل 10 % في مناطق التضريس الصلصالي والمناطق الداخلية بجنوب الصين التي تتميز بالأمطار الصيفية وفصول الصيف الشديدة الحرارة .

أما نظام البحر فيتم الحصول عليه على أساس تغيرات المنسوب التي يعرفها النهر خلال السنة الواحدة . وبالنظر إلى كون هذه التغيرات تكون عادة قارة ومنتظمة بحيث تتكرر كل سنة ، فقد جرت العادة أن تصنف الأنهار حسب نظامها . فانتظام إيقاع التغيرات مرهون بالمناخ







الرسم جانبه : كما هو معلوم ، يتكوّن النّهر من مجاري ثلاثة : الأعلى والأوسط والأسفل ، تتناسب و مراحل ثلاث وهي الفتيّة (أو السيلية) والطميّة (أو الترسّبية) ومرحلة الشّيخوخة (أو الدّلتائية) إلا أنّ الأنهار كلّها ليست على هذا التّقسيم لأن ذلك متعلّق بشكل التّربة ومنطقة السّيلان . وهكذا يمكن وجود نهر ذي مجرى دائم الوعورة (الرسم 1) وذلك في مرحلة الفتوّة ، ونهر ذي مجرى غير منتظم في جزئه الأوّل ولكنّه ناضج في طرفه الأخير (الرسم 2) ثم نهر نموذجي (الرسم 3) الذي تظهر به المرحلة الدّلتائية والذي يفترض مروره بالمراحل السّابقة .

بسبب التساقطات والحرارة التي تتدخل مباشرة في عملية التبخر وتسهيل التساقطات الصلبة . وهناك عامل آخر من عوامل التغير، يكمن في التربة التي تسهل أو تمنع تسرب المياه وتوجيهها حسب درجة نفوذيتها . ولارتفاع التضاريس كذلك دور أساسي حيث تستقبل التساقطات الصلبة ويوجد بها الثلج الحبيبي والمجلدات التي تشكل خزانات مائية بالنسبة للفترة الصيفية . ولتوضيح ذلك نتخيل منطقة ذات مناخ حار نسبيا وذات أمطار فصليّة غزيرة وتربة كتيمة ، فالأنهار التي يمكن أن تتكون بها سوف تتوفر لا محالة على نظام من النوع السيلي. لأنها سوف تغتني بالمياه المتدفقة بشدة خلال فصل الأمطار ، وتكون بالمقابل قليلة المياه خلال فصل الصيف . وبالفعل ، فأنهار الألب ، الممتدة على طول جنوب شرق فرنسا وسويسرا وشمال إيطاليا والنمسا ، تعرف فترات فيضان خلال نهاية فصل الربيع، وفي بداية فصل الصيف ، بسبب ذوبان الثلوج. بينما التحاريق تسود خلال فصل الشتاء بسبب التساقطات الصلبة .

وهناك أيضا أنهار تشهد فترتي فيضان ، تكون الأولى في الربيع بسبب ذوبان الثلوج ، والثانية في الخريف بسبب غزارة الأمطار ، إضافة إلى فترتي ضحل وتحاريق ، أولاهما في فصل الصيف بسبب انعدام التساقطات ، والثانية خلال فصل الشتاء بسبب وفرة التساقطات الصلبة . والأنهار ذات النظام التوسّطِيّ هي التي تعرف فيضانا خريفيا قد يصل معامل منسوبه 100 % بينما يمكن للمنسوب أن يصبح منعدما خلال ضحل الصيف. ومثل هذه الأنهار كثيرة في جنوب إيطاليا.

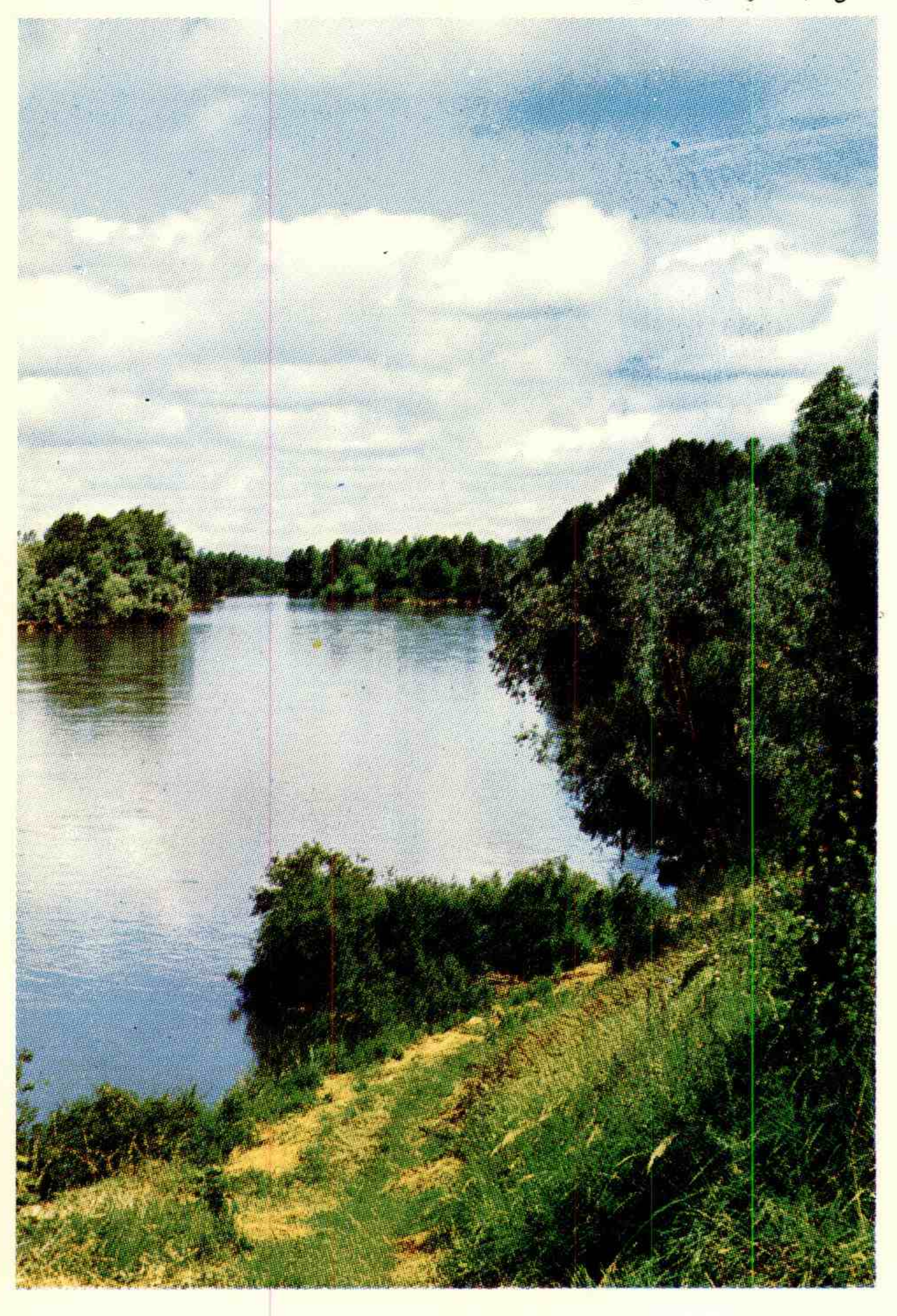
أما الأنهار الاستوائية فهي ذات منسوب قار طوال السنة ، لأنه خلال الفصول المتوسطة ، تضاعف الأمطار المجاري المنخفضة والمتوسطة وروافدها . وفي فصل الشتاء يثير تنقل الشمس تهاطل الأمطار على كل الأحواض المائية للروافد الواقعة في أحد أطراف النهر ، بينما يقع العكس خلال فصل الصيف . فنهر الأمازون مثلا ذو منسوب قار ، لأن الأمطار تزوّد المجاري المتوسطة بجميع الروافد خلال فصلي الخريف والربيع ، في حين تزوّد روافد الضفة اليسرى في الصيف، وروافد الضفة اليمنى في الخريف .

عندما تكون عملية الترسّب كثيفة في أحد الأنهار ، فإنّنا نجد في مجراه تشكّلات رملية وترابية تعرف بجزر الترسّب . وإذا كانت الأرصفة الرملية تقاوم عملية الحتّ المتلاحقة ، فجزيرة الترسّب تتغطّى بالنّباتات كما يظهر في الصورة جانبه وهي من لالوار بفرنسا .

## لماذا تختلف الأنهار ؟

ولقياس سرعة النهر ، يجب اعتبار خصائص الأرضية ، أي منحدر النهر ووعورة المجرى ومنسوب النهر ذاته . وتوجد السرعة القصوى في الجزء الأوسط من المقطع تحت مساحة النهر ، لأنه فوق السطح وفي القعر والجوانب ، يخضع الماء لظاهرة الاحتكاك تحت تأثير الهواء ، وتواجد الجدران الصخرية . وبالفعل ، فالسرعة تتقلص كلما اقتربنا من القعر ومن الضفاف وذلك بسرعة تدريجية .

ومعدل سرعة النهر في السهل هو متر واحد في الثانية ، إلا أن هناك أماكن مثل الجانب الخارجي لعقفة النهر ، تصل فيها السرعة أربعة أمتار في الثانية .



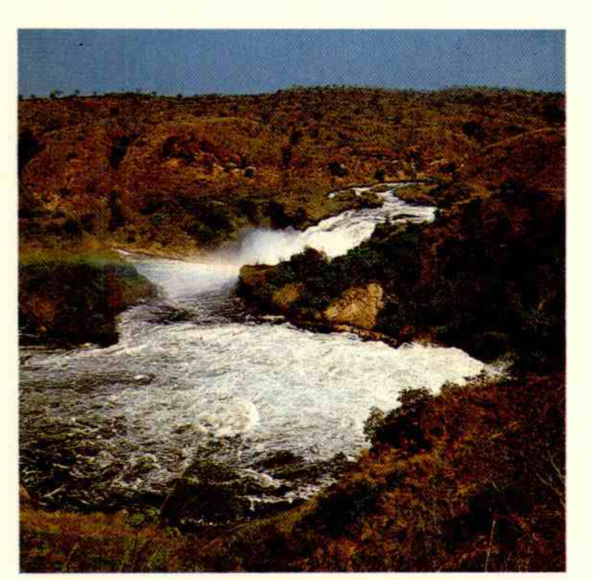
**لماذا يقوم النّهر بحتّ التربة عند طرفه النّهائيّ ؟**

### الأراضة الدينامية للمياه ذات المجرى القار :

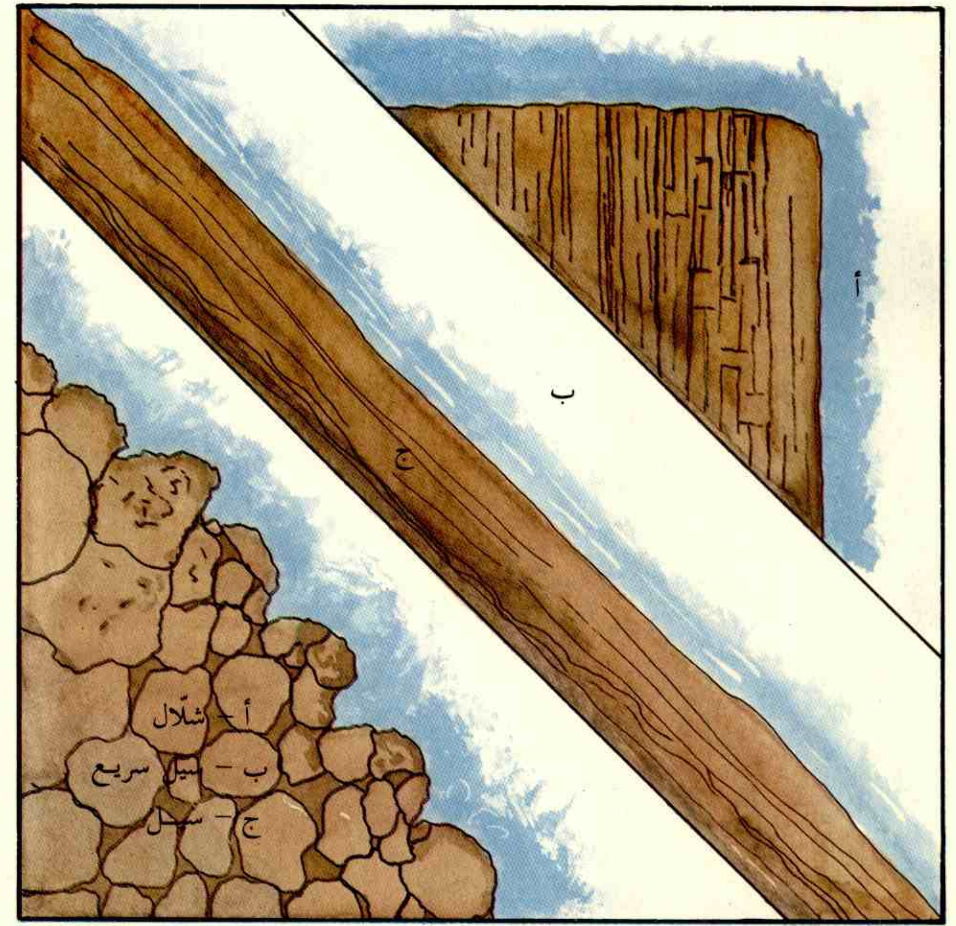
سبق أن تعرضنا إلى خصائص المياه التخريبية منها والبنائية بصفة عامة ، وإلى مفعول كل من الحت والنقل والايداع ، وسوف نرى الآن كيف تتجلى هذه الخصائص بالنسبة للمياه التي تسير في مجرى قار أو الأنهار بصفة عامة وذلك في إطار ما يعرف بالحت المقنّى .

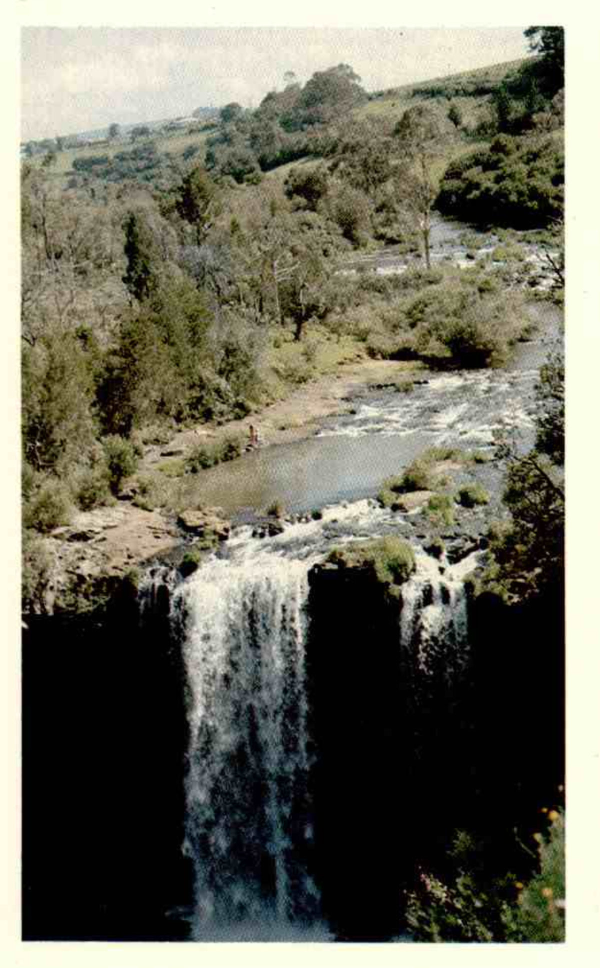
فعلى غرار النقل أو الايداع المتناسب عكسا مع الحت ، فإن الحت نفسه ذو قوة مختلفة إذا قيس على مستوى المجرى الأعلى أو المتوسط أو الأسفل للنهر ، وهكذا تظهر لنا ثلاث مراحل : فالمرحلة السيلية تتناسب مع الجزء الأعلى حيث يسود الحت بسبب انحدار التضاريس وسرعة المياه. وهي كذلك مرحلة الفتوة . وتتناسب المرحلة الطميية أو الترسبية مع الجزء الأوسط حيث تتقلص السرعة توازيا مع تسطح التضاريس ، حيث يكون النهر قد وصل إلى السهل وتضاعف منسوبه ، وهي مرحلة نضج النهر . أما المرحلة الدلتاوية فتناسب الجزء النهائي من النهر الذي لا يتوفر عند وصوله إلى المصب سوى على قدرة حتية ضعيفة ، ولكنه يكون غنيا بالموادّ الحتاتية التي يودعها بوفرة ، وهذه هي مرحلة شيخوخة النهر .

وفي المرحلة السيلية يغلب الحت العمودي الذي يرتبط



بمنسوب متواضع ،ولكن ذي سرعة فائقة . ولنتخيل هذه الكتل المائية التي تتدفق على الصخور وتلقي بالحتات الصلب الذي يساهم بكيفية فعالة في عملية الحت ، آنذاك تتجلى لنا الطريقة التي تتشكل بها الوهاد والهُوى ، فالوهاد هي شعاب ضيقة ذات جدران شديدة التحضر تآكلت بفعل الماء الذي حفر مجراه ،والذي يتوفر على قدرة حتية من الشدة بمكان لكون الطريق الذي يسلكها غاية في الوعورة . وتكون هذه الشعاب طويلة وضيقة في بعض الأحيان ، ومن



لماذا يودع النهر الحتات في طرفه النّهائي ؟

أشهرها شعاب كولورادو في الولايات المتحدة ، ويجري وسطها نهر ينحصر في واد ضيق ذي جدران عمودية يصل ارتفاعها 1.600 مترا . وبفعل الحرارة وندرة مياه المطر والحت ، بقيت تلك الجدران شديدة الوعورة وتظهر ذات منظر خلاب .

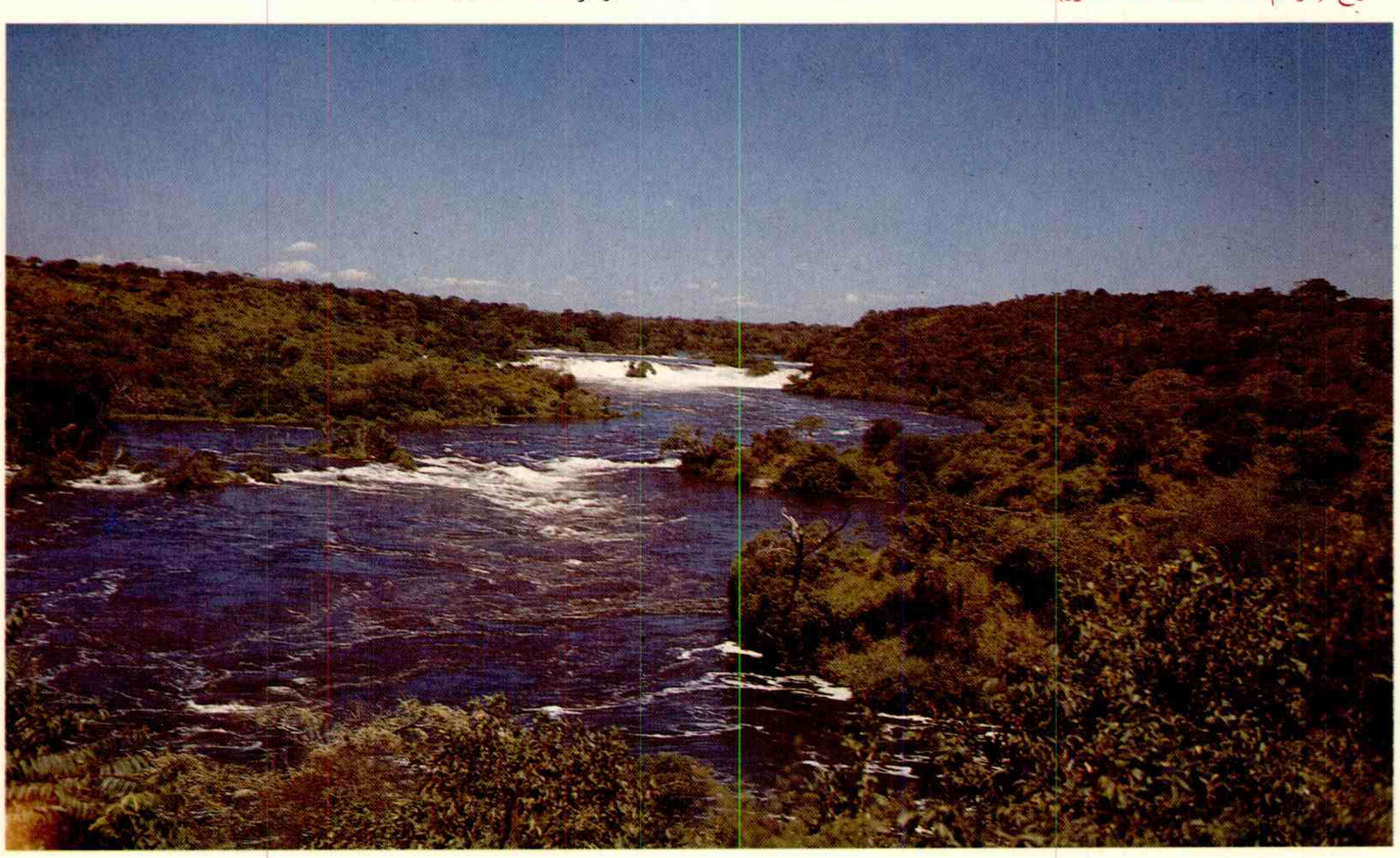
وإذا كان النهر في مرحلته السيلية يصادف صخورا صلبة واقعة بين طبقتين من الصخور الهشة المتأثرة بالحت ، فإنه يشرع في قرض الأجزاء الهشة إلى أن يلتقي بالطبقة الصلبة التي ترتفع ، فيلجأ آنذاك إلى ما يسميه بعض الدارسين بخطة الدوامات أو الحت المدوم .

فالصخرة الصلبة تبقى منحصرة بين طبقتين متآكلتين يجري فوقهما الماء باستمرار ، وخاصة حين تكون الصخور موضوعة عرضانيا بالنسبة لاتجاه التيار. وحين تكون موضوعة طولانيا كذلك . فالماء وقتذاك يشكل دوامات سطحية تنتشر وتمتد إلى غاية القعر. حيث تحرك الرمال والحجارة الموجودة هناك ، وبسرعة تخنق حويضات تميل تدريجيا إلى الاتساع إلى أن تؤثر على الجدران الفاصلة بينها وتحطم ، ثم تنهار الصخرة . وتعرف هذه التجويفات النصف الكروية بحفر العمالقة .

ومن بين الظواهر ذات المفعول التآكلي المثير هناك الشلالات التي تنشأ،عندما يضطر النهر للمرور على سد ضخم أو حين يلتقي النهر ، عند سافلة منطقة صخرية صلبة ، بمنطقة صخرية هشة سهلة الحت . آنذاك يتضح لنا لماذا تقوم المياه بقرض الجزء الهش وإبراز الجزء الصلب الذي يبقى معلّقاً ، مما يثير سقوط المياه بشكل عنيف .

وعلى غرار جميع ظواهر الاراضة الدينامية المتعلقة بمفعول المياه ، فالشلالات ليست قارة ومتشابكة بكيفية قطعية .

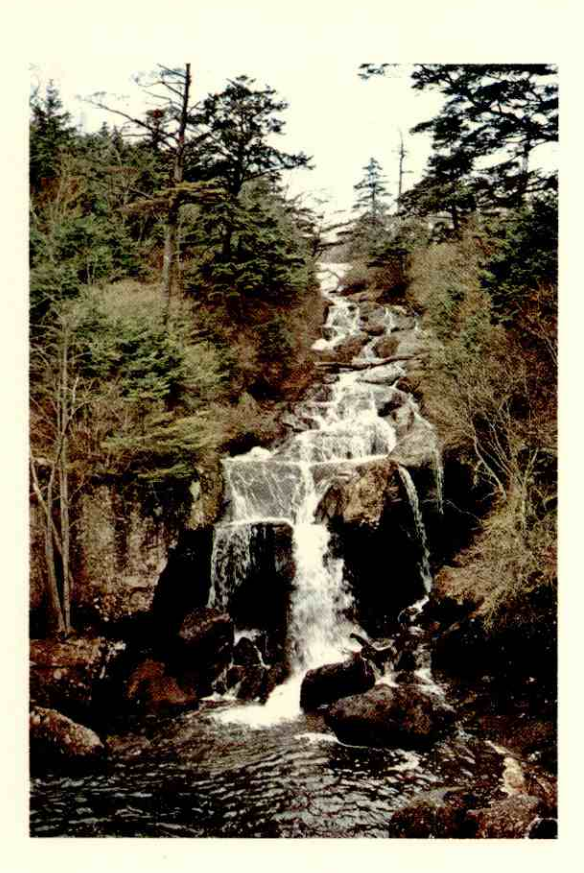
تصادف الأنهار خلال جريانها عدّة حَواجز تجتازها بعدّة أساليب حسب المرحلة التي يوجد على النّهر كالفتوّة أو الرّسوبية أو الشّيخوخة وعندما تكون المياه متوفّرة على بعض السّرعة والعنف وتصادف طبقتين صخريتين متعاقبتين ، فإنّ الصخرة الهشّة الأقرب إلى الوادي هي التي تتعرّض لحتّ المياه ، مما يجعل المياه تهوي على شكل شلّالات (شلّالات مورشيسون في الصورة 1) . وتواصل المياه حتها إلى أن تقتلع من الجدران كتل الحجارة الضّخمة التي تعوق مسيرتها ثم تنشأ عنها سيول سريعة (الصورة 2 : سيل النيل) أو شلّالات إذ كانت الكتل الصّخرية على شكل مدرّج (الرسم جانبه يبين هذا التطور) .



## كيف تتكوّن الشلّالات ؟

فجانب الشلال يميل إلى التراجع بسرعة،لأن حويضا صغيرا ينشأ عند أصل الجدران الصلب ، حيث تضطرب المياه بعنف شديد تساعدها في ذلك الحجارة والحصى التي تلعب دور الثاقبات التي تؤدي إلى تقهقر الجدار . وينشأ عن انهيار الجدار، تراكم الحتات في قعر الحويض ، مما يقلص من ارتفاع الشلال ليشكل شلالات صغيرة أو سيولا . وبعيدا من ذلك المكان ، حيث يتضخم الايداع ويبقى السطح مائلا ، ويسيل الماء بسرعة فائقة ولكن بدون شلالات ، وتعرف الظاهرة بسيل الماء السريع . وتجدر الاشارة إلى أن سيول الماء السريعة لا تصدر دائما عن الشلالات ، وأن الشلالات لا تخلق دائما سيول ماء سريعة ، فهناك حالات تبقى فيها الشلالات قارة ، وخاصة حين تقع على صخور صلبة منضدة على شكل طبقات عمودية تنفصل توازيا ، ومن أشهرها شلالات نياغارا .

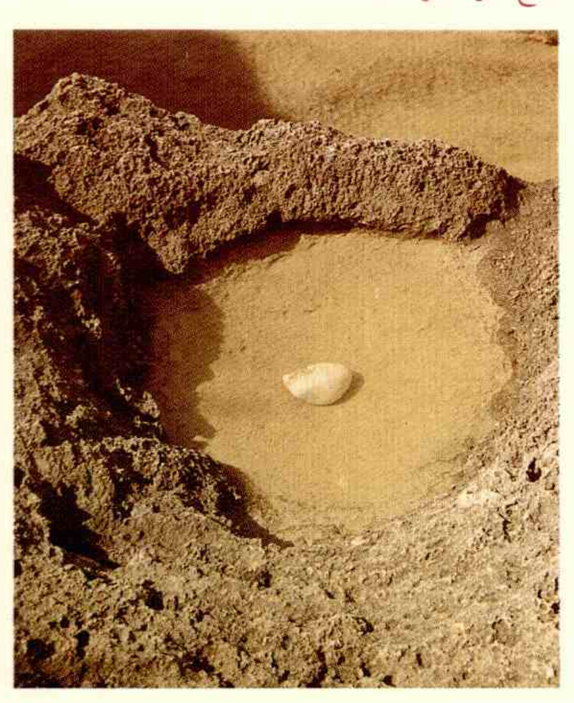
وطوال المرحلة السيلية ، تقوم المياه كذلك بدور بناء يتجلى أساسا في ايداع الحتات عندما يصل السيل إلى السهل ويرتمي في واد أوسع ، ذلك أن المنحدر والسرعة يتقلصان ، ويقوم الترسب مقام الحت . وعند السافلة تودع الصخور الأكثر ثقلا ، وفيما بعد تودع المواد الدقيقة الحجم بعد أن تعرضت للصقل ، إذ ينتهي بها المطاف إلى تشكيل مروحة تتجه قمتها نحو العالية على شكل مخروط ترسبي . وعندما يصل السيل إلى السهل ، يصبح نهرا ثم يدخل في المرحلة الطمية حيث يتقلص كل من منحدره وسرعته وقدرة حته ، توازيا في حين يصبح إيداعه أكثر تماسكا . وفي المجرى المتوسط ، يتخذ النهر طابعا متميزا يمكن نعته بالوفرة وخاصة حين يلتقي بحاجز ولا يحاول أن يحطمه أو



في الصورة أعلاه مجرى مائي غير منتظم يجمع بين السّيول والشّلالات ويصلها بمجرى هادئ .

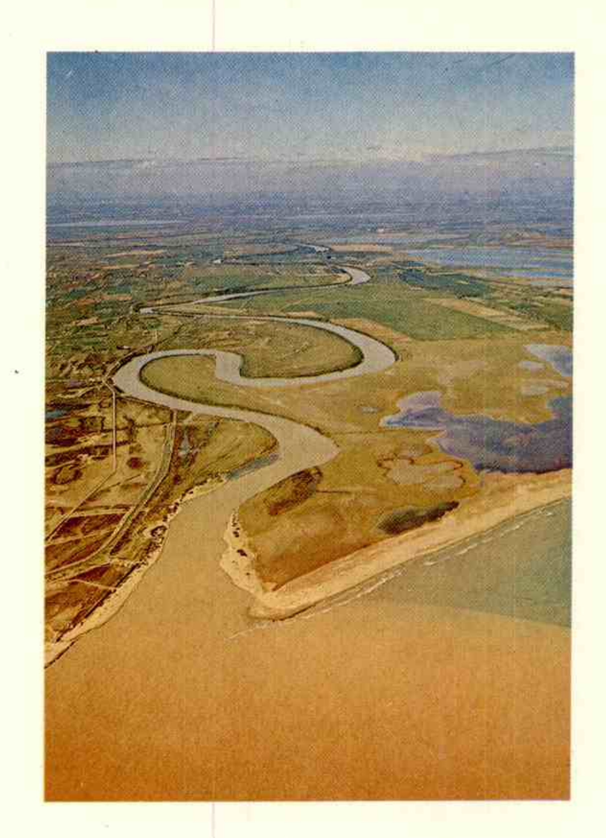
في الصورة جانبه ، الشّعاب الكبرى في كولورادو بالولايات المتّحدة ، وهي من الأمثلة الصّارخة التي تتجلّى فيها قدرة المياه على حتّ الصّخور .

في الصورة أسفله ، حفرة عمالقة وفي وسطها حجر . وهو نتاج حركة دوّامة .





## لماذا تكثر التعرّجات في بعض الأنهار ؟



عندما يكون النهر في خطّه النّهائي تتضاءل قدرته على الحتّ ، فترغمه الحواجز التي يصادفها على إنشاء تعرّجات متفاوتة العرض . (في الصورة أعلاه تعرّجات نهر الرّون بفرنسا)

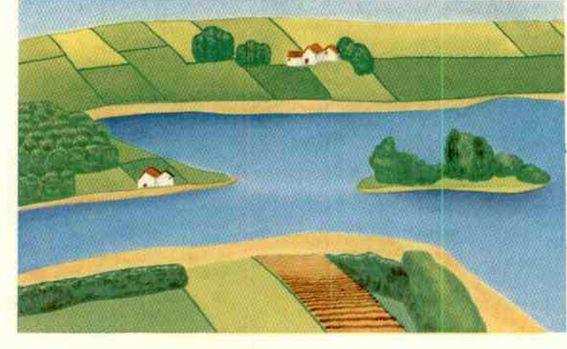
في الرسم أسفله ، تمثيل لعقفة التقاء المياه التي تتكوّن عندما يلتقي رافد بالمجرى الرّئيسي وبجزيرة ترسّبية تتشكّل عندما يودع النّهر كمّيات مهمّة من الحتات .

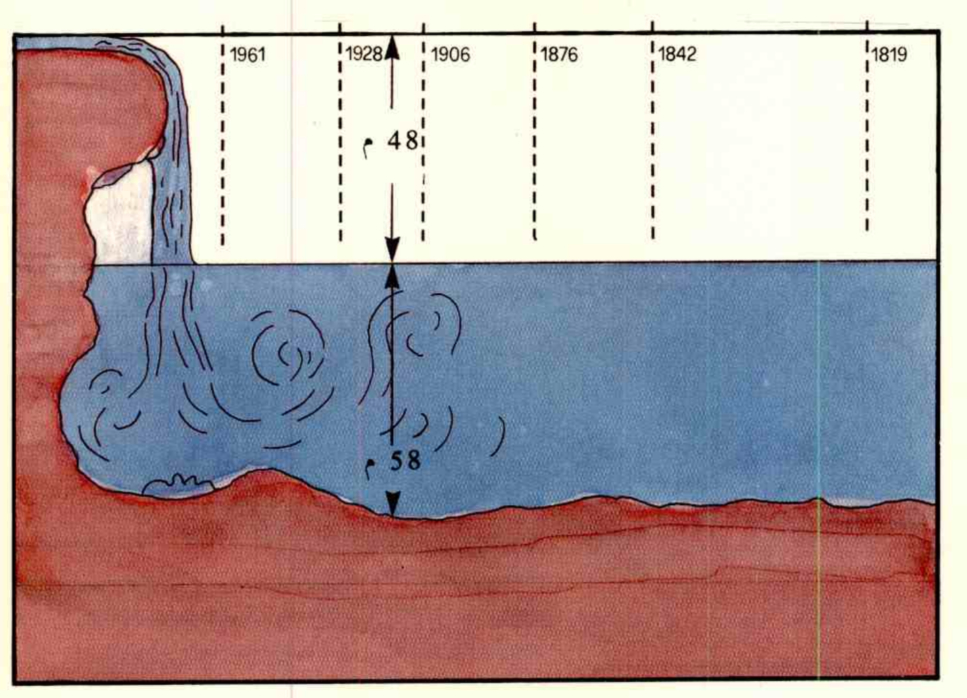
يتجاوزه ، بل يطوقه مشكلا خطوطا مقوسة متفاوتة العرض ، تعرف بالمتعرجات أو التعرجات النهرية ، وفي حالة تكون المتعرجات ، تحدث تغيرات تحول تدريجيا مظهر الوسط الذي تتحرك فيه . ولنتخيل نهرا يلتف حول حاجز متمثل في صخرة ضخمة ويشكل حولها متعرجة يتبعها باستمرار في هبوطه نحو البحر ، فمنذ اللحظة التي تكونت فيها المتعرجة ، فالنهر يشرع في قرض الصخرة لأن خط التيار عند مدخل المتعرجة يميل إلى البقاء مستقيما فيرتطم بالجدار المقعر الذي يقرضه . وبكيفية غير مباشرة ، تودع الصخور المنقولة على الجدار المعاكس بينما يواصل التيار ارتطامه بجدار المتعرجة المقعر العلوي ، ثم يستمر في تكرير نفس العملية . وفي حالة الفيضان ، تتضاعف سرعة المياه إلى درجة أن النهر ، عندما تكون المتعرجة بارزة جدا ، يكسر الحاجز ويغير مجراه لاغيا بذلك تلك المتعرجة .

ويكون مصير ساعد النهر آنذاك امتلاؤه بالتراب أو الانقراض لانفصاله عن النهر الجاري بواسطة جزيرة تعرف بجزيرة الحت .

أما جزر الترسّب فهي على العكس من جزر الحت ، تتشكل على طول مجرى النهر تحت تأثير إيداعات حتاتية مهمة ، وهي غالبا ما تُغطّى بالنباتات وترغم النهر على الانشقاق إلى مجار متعددة وخاصة خلال فترات الضحل . وعندما يرتمي رافد في النهر الجامع ، فإنه يشكل عقفة الملتقى المتمثلة في الانحراف الذي يسببه الرافد للمجرى الرئيسي . ومن البديهي أن مفعول التيار لا ينتهي باتصاله بمياه النهر وأن هذه المياه الأكثر تماسكا لا يمكنها أن تكف عن الارتطام بالجدار المعاكس الذي تقرضه .

وينشأ كذلك إيداع حتاتي يعرف بشبه جزيرة الملتقى ، وهو حين يستطيل ويتضخم مع مرور الزمن ، بإمكانه خلق فاصل بين مجريين مائيين . وهناك أيضا ظاهرة أخرى تتسم بالخطورة بالنسبة للزراعة ، وتتمثل في مجاري المياه المعلقة . وهي تحدث عندما يجري نهر ما على أرضية قليلة الميلان ،





فيميل إلى قلب كميات هائلة من الحتات تقوم بالرفع قليلا من مجراه ، آنذاك يضطر النهر إلى حفر مجرى جديد في قلب حتاته مع استمراره في إيداع وتكوين المواد الرسوبية . وفي حالة الفيضان ، تنهمر المياه ولا تتمكن من العودة إلى مجراها الأصلي . ولهذا السبب ، لابد من القيام ببناء سدود اصطناعية عالية ، وإقامة أنظمة ضخ وصرف تقذف بالمياه إلى الخارج .

أما آخر جزء من مجرى الماء الذي يسيل ببطء وتثاقل حاملا معه المياه العكرة المكونة من الطمي والمواد العضوية ، فيناسب المرحلة الدلتاوية . فالنهر يرتمي آنذاك في البحر حيث يودع كل المواد التي نقلها والتي تترسب بفعل الاتصال بماء البحر لتكون من مرحلة أولى على شكل مخروطي تحت الماء ثم تحت الهواء . ومرة أخرى يتعلق الأمر بمروحة تتجه قمتها نحو العالية وتظهر على شكل مثلث

## لماذا تتوفّر بعض الأنهار على أكثر من مجرى ؟

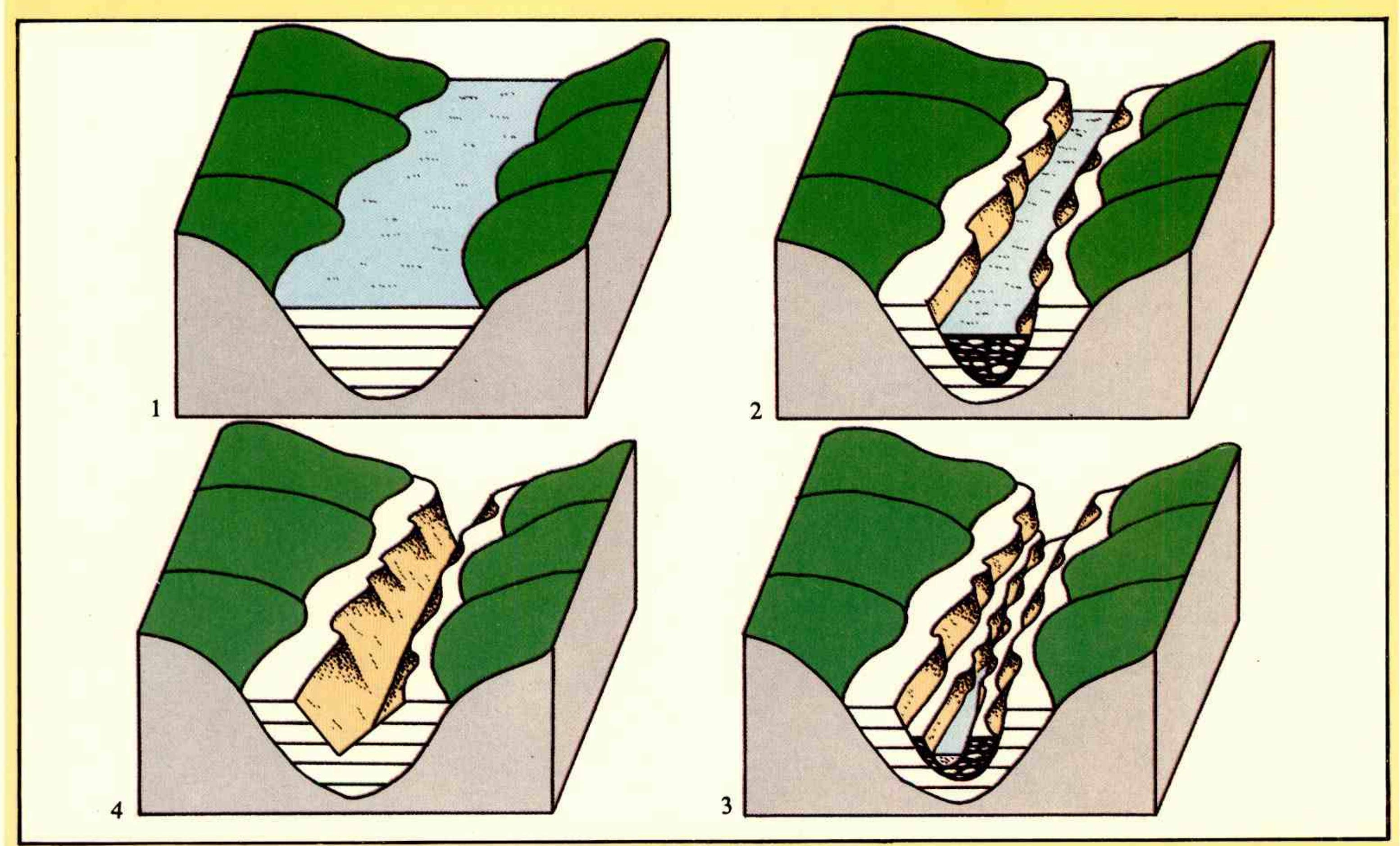
### الشُرف النهرية وظاهرة الاجتذاب :

إن لظاهرتي الردم والاجتذاب علاقة مباشرة مع الاراضة الديناميية للمرحلة السيلية ، وتمثلان حلولا لاستمرارية التطور المنتظم لحياة مجرى مائي .

فالشرفات النهرية ترجع قبل كل شيء إلى التغيرات التي تطرأ مع مرور الزمن على كل من المنسوب والسرعة وقوة المجرى المائي . ومن الواضح أن المنسوب القوي يساعد على عملية التأكل بينما يساهم المنسوب المنخفض على الترسب . ويمكن أن تحدث ظواهر جيولوجية ترفع من مجرى النهر بإرغامه على خلق مجرى آخر . وتنشأ الشرفات النهرية حين يضطر النهر إلى حفر مجرى جديد بتعميق الوادي وحته إلى أن يصير على شكل عدة هضبات مدرجة تتناسب على ضفتي الوادي ، ويحدث ذلك تحت تأثير ظواهر بنيوية الأديم حيث تنشأ الأرصفة الجبلية وتصبح جانبية الوادي النهري ، التي تكون على شكل قِمع ، أكثر حزّاً إذ تصل في بعض الحالات إلى عمق مهول ، ويمكن معاينة التنضيدات التي تعاقبت على مر السنين ، لأنها تظهر بارزة على سفحي الوادي .

وتتعلق ظاهرة الاجتذاب أساسا بالسيول وهي تتمثل في اجتذاب مجرى مائي لمجرى آخر واقع تحته أو مجاور له . وإذا اعتبرنا سيلا قويا وجارفا يقع على مقربة من مقسم المياه ، فسنلاحظ أنه يحت بسهولة الجبل الذي يهوي منه ، كما سيتبين لنا أنه سيفلح في الوصول إلى مقسم المياه واجتذاب مجرى مائي واقع في السفح المعاكس .

**في الرسم أسفله ، يمكن تتبّع التّقعير التّدريجي الذي يحدثه النهر المتعدّد المجاري ، ويؤدي هذا التّقعير إلى تكون أرصفة نهرية .**



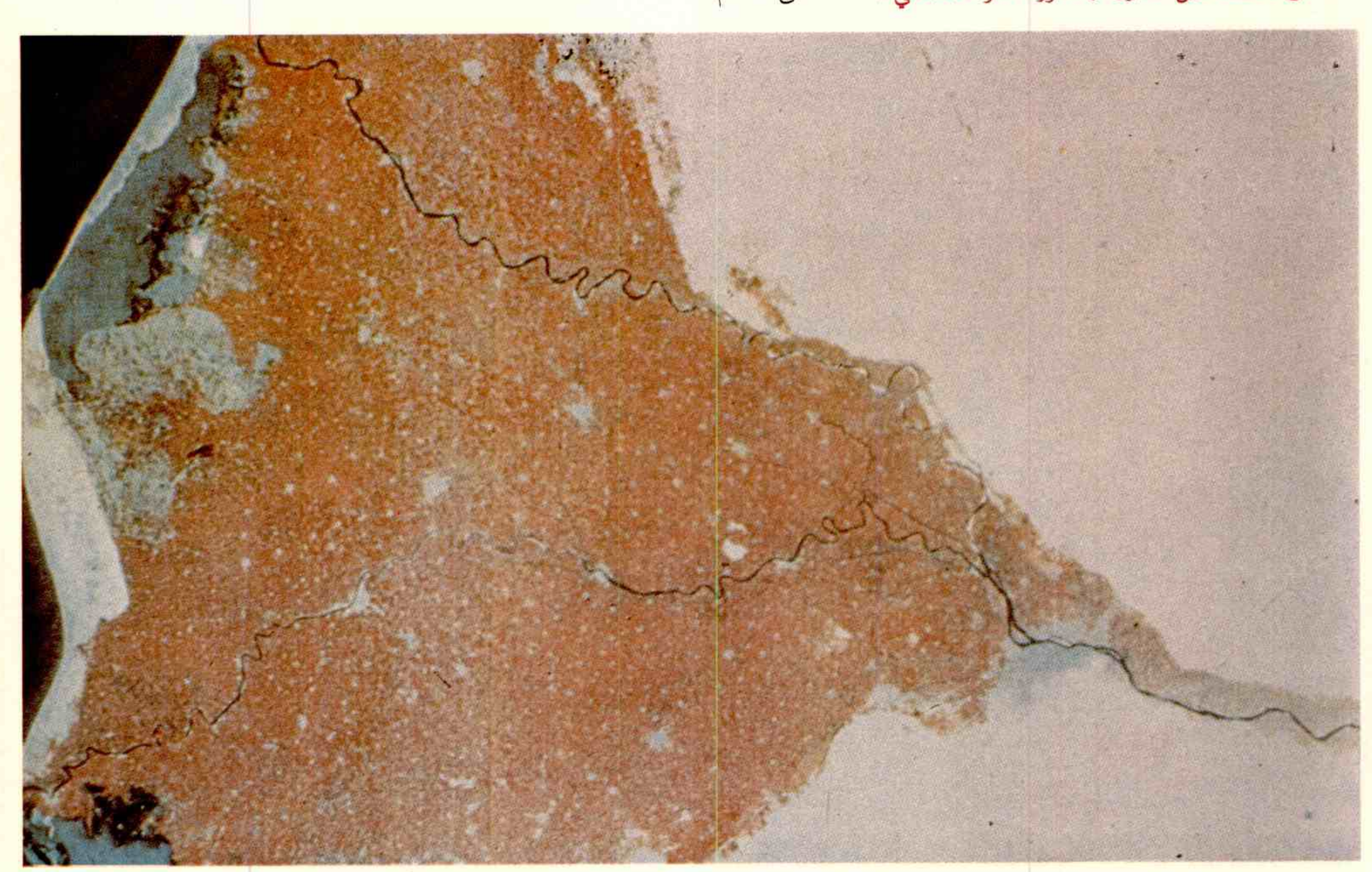
يجعلها تسمى بالدلتة ، وأصل الكلمة من الحرف الاغريقي المثلث الشكل « دلتا » . أما سبب تكون الدلتة فهو من البساطة بمكان ، ذلك أنه خلال فترة الفيضانات ينفذ الماء بسهولة إلى الايداع الطميي ويخلق مجاري ثانوية قد يكثر عددها في بعض الحالات . وتثير التغيرات الناتجة عن الفيضان والضحل تعاقبات في دور الفرع الرئيسي حيث يمكن لأكبر قدر من المياه أن يمر من مجرى إلى آخر ، كما أن بعض المجاري قد تنمحي وتنشأ أخرى من جديد . وهكذا يتم التمييز ما بين نوعين من الدلتا ، الدلتا المفصص ذو أشكال مدورة ، والدلتا المتعدد العرى الذي يتجزأ كل فرع من فروعه ويحتمي من البحر بواسطة حزام ساحلي ، وهو على شكل شريط رملي مستطيل مكون من إيداع المواد المعلقة . وينشأ عن حزامين ساحليين حين يلتقيان ، بحيرة شاطئية ، وهي حوض مائي أجاج منفصل عن البحر ، وحين يكون النهر مفتقرا إلى المواد ويكون البحر الذي يرتبط به هائجا وذا أمواج عالية ، فإن البحر يقوم بتشتيت مياه النهر العكرة لتغلبه على النهر حيث يرفع جزءا من مجراه المنخفض . آنذاك نكون أمام دلتا سلبي أو مصب النهر الصالح للملاحة . وبالمقابل ينشأ الدلتا الخطي عندما يتوازن مفعول النهر مع مفعول البحر .

**كيف تنشأ الدّالتة ؟**

**خاتمة**

إن معرفة معدل قيم مختلف عمليات وخصائص النهر ، تكتسي أهمية بالغة بالنسبة للانسان ، لأنها تمكنه من وضع تخطيطات ذات نفع اقتصادي . فالنهر يصبح على الورق المليمتري بين يدي المتخصص خطا مقوسا ومقعرا نحو الأعلى ينطلق من النبع لينتهي عند المصب ، ويمثل منحنى توازن النهر . والتوازن هو التلازم ما بين العمليات الأساسية الثلاث وخاصة منها النقل الذي يمثل أقل صعوبة بالنسبة للمجرى . ففي جزئه الأول يكون على السيل أن يسوي التربة بحت الحواجز وملء المناطق المنخفضة بالحتات . وفي المرحلة الطميية ، توجد النقطة التي تتوازن فيها العمليتان ويكون فيها النقل أكثر أهمية . وجانبية توازن النهر هي إذاً المنحنى الذي يجمع كل النقط التي تتوازن فيها العمليات المعاكسة . ويمكن القول في الأخير إن السيول ذات منحنى شاذ وغير منتظم ، بينما الأنهار والجداول مجاري مائية ذات منحنى منتظم .

دالتة من دالتات النّيل الكبرى كما صوّرها قمر اصطناعي .



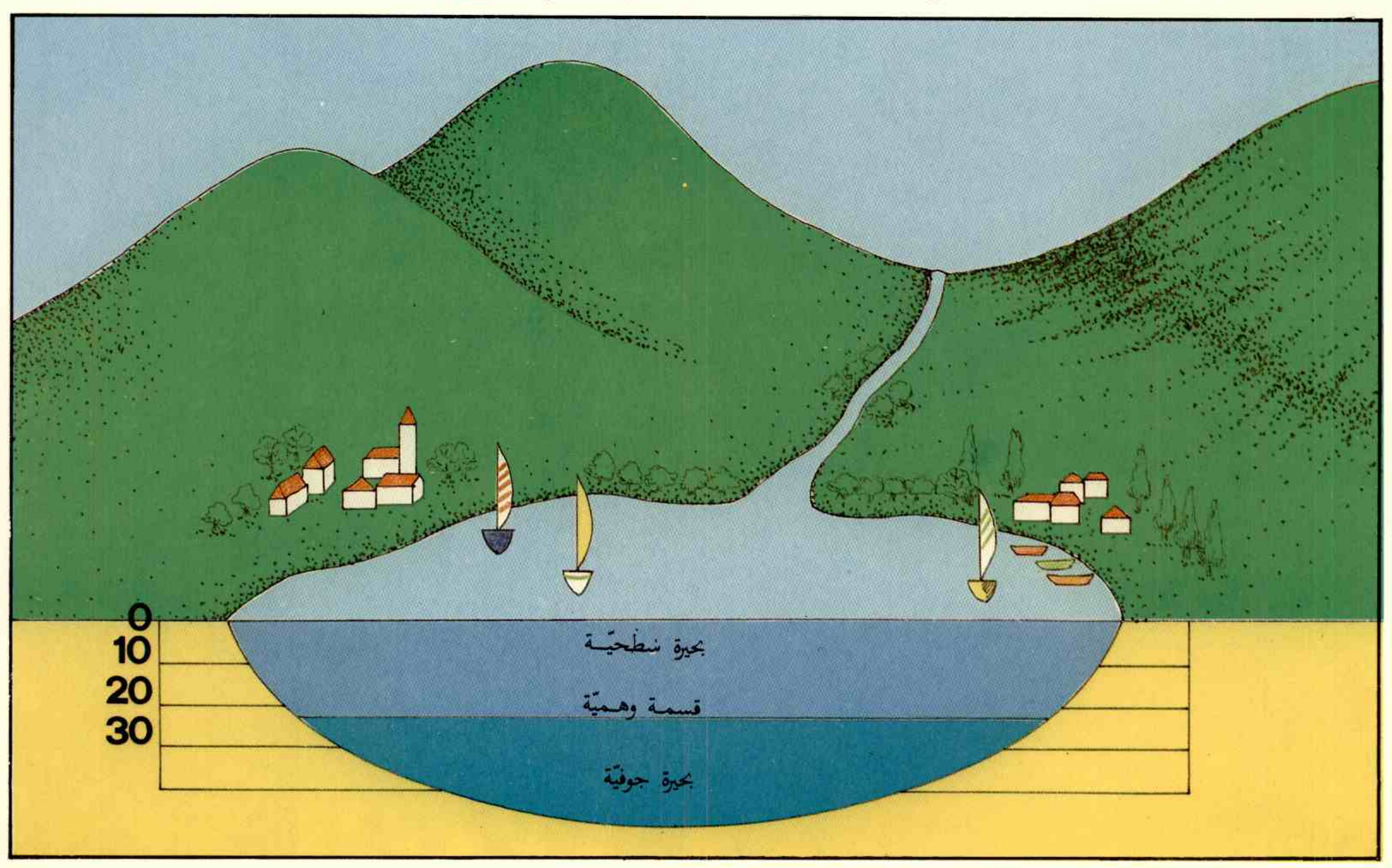
# مياه الأحواض : البحيرات ( المستنقعات والسباخ والمخثات ) :

لماذا تتشكّل البحيرات ؟

يعرف بعض الدارسين البحيرة بكونها منخفضا متوسط العمق لا ينقسم سطح مائه إلى أحواض ثانوية . ويرى البعض الآخر أنها حقل جزؤه المركزي عميق لا يشتمل على نباتات . وهناك آخرون يسلمون بأنها كتلة من المياه العذبة أو الأجاجة تتجمع في حويض لا صلة له بالبحر . وهكذا يتفق الجميع على أن البحيرات ظواهر انتقالية مآلها الانقراض إن عاجلا أو آجلا وذلك حسب اتساعها ومساحتها .

هناك في الواقع نوعان من البحيرات،منها بحيرات تعتمد على التبادل المائي بين الأنهار ، حيث يكون النهر الرافد هو الذي يقتحم البحيرة والنهر الصارف للمياه هو الذي يخرج منها،ومنها بحيرات أخرى لا تقوم إلا على مياه الأمطار والينابيع الجوفية ولا تجف إلا عن طريق التبخر . ومن البديهي أن البحيرات المكونة من مياه الأنهار معرضة إلى عمليات إيداع الرافد وحت الرافد والمصرف . ومن الواضح أيضا أن البحيرة تمثل حلا إستمراريا في المجرى المنتظم للنهر الذي تحرف المستوى الأساسي لمنحنى توازنه ، الذي يتوافق عادة مع مصبه أو نقطة التقائه مع المُجمِّع . وتميل الأنهار إلى استعادة

يمكن للبحيرة أن تنشأ نتيجة عدّة عوامل ، إلّا أنّه غالبا ما تتكوّن من حصّة المياه النهرية ، كما يظهر من خلال الرسم أسفله .



وضعية مورفولوجية ملائمة أو إلى نضج واكتمال الوضعية السابقة . ويمكن القول بأن ردم البحيرة يشكل نضجا مورفولوجيا متكاملا .

ومن أسباب زوال البحيرات كذلك ، هناك الجفاف **الناتج عن نقصان في التزويد بالماء أو إفراط في التبخر أو عن العاملين معا.وتدخل كل هذه المعطيات في إطار تطور** البحيرات التي تمر بالمراحل المتعاقبة المعروفة وهي البحيرة فالمستنقع فالسبخة ثم المخثة . وللبحيرة عمق مركزي يحمي الكتلة المائية ، ولو جزئيا ، من الغزو النباتي . أما المستنقع ، فهو أقل عمقا ، وتكثر به النباتات دون أن يتعرض لها أي حاجز ، حيث تخلق هناك تعاقبا بين الأجزاء الحرة والأجزاء المكشوفة . وتكون السبخة أقل عمقا من المستنقع ، ويحدث أن تجف جزئيا في سنة واحدة . أما المخثة فتشبه السبخة ولكنها تتميز عنها باحتوائها للنباتات المتفسخة . وتتميز المياه البحيْرية بكونها ذات حركة محدودة جدا ، وهي تتعرض لتأثير تيار الأنهار والرياح ، حيث يمدها بحركية تتمثل في تموج المياه من ضفة إلى أخرى . ويبلغ هذا التموج عند حده الأقصى مترين أو ثلاثة أمتار ، وهو يقاس عادة بالسنتميترات . وهناك عوامل أخرى ذات أهمية قصوى في تحليل مياه البحيرات ، ومنها الحرارة والملوحة المتغيرتان حسب الارتفاع والمناخ .

ففيما يتعلق بالحرارة ، فقد وُضع تقسيم وهمي يفصل منطقة انخفاض الحرارة المنتظم عن المنطقة الواقعة تحت النقطة التي يكون فيها الانخفاض الحراري مباغتا ولا يتعدى بضع درجات . وفي المناطق المعتدلة ، يكون الجزء الأكثر **عمقا محتفظا بحرارة معتدلة طوال السنة ، في حين يكون** الجزء الأعلى شديد الحرارة في فصل الصيف بينما تعرف الفصول المتوسطة تماثلا حراريا ، أما في فصل الخريف فيكون الجزء الأسفل أشد حرارة من الجزء الأعلى . وفي المناطق القطبية يكون الجزء الأسفل أكثر حرارة من الجزء الأعلى ، ما عدا في فصل الصيف حيث يسود التماثل الحراري . أما في المناطق الاستوائية ، فمن الطبيعي أن يكون الجزء الأسفل أشد حرارة بخلاف فصل الخريف الذي يعرف تماثلا حراريا .

إن البحيرة ظاهرة انتقالية في المورفولوجيا النّاضجة ، إذ غالبا ما تتحوّل تدريجيا إلى مستنقع ذي مياه قليلة العمق (الصورة جانبه) ثم إلى مخثة ذات المياه المنخفضة والمغطّاة بالنّباتات (الصورة اعلاه) .

وفيما يخص الملوحة ، يجب التمييز ما بين أنواع البحيرات . فبحيرات الجبال تتعرض لتأثير الروافد المزودة بمياه المثلجات والثلوج الحُبيبية ، ولذلك تكون ذات ملوحة ضعيفة . وتقع البحيرات الألبية في أراضي غنية بالأملاح القابلة للذوبان ، وهي بذلك شديدة الملوحة . أما البحيرات المسدودة التي لا تتوفر على أي مصب ، فهي معرضة لتبخر مكثف مما يجعل تمركز الملوحة بها مرتفعا جدا .

وبعد هذه المعطيات الخاصة بطبيعة البحيرات وأصلها وتطورها ، يمكن إعطاء تصنيف لأنواعها يتوخى المنطق والانسجام ، ويرتكز أساسا على أصل حُويْض البحيرة .

## لماذا تعتبر البحيرة ظاهرة انتقاليّة ؟





# أصناف البحيرات

ماهي أنواع البحيرات الأكثر انتشاراً ؟

**البحيرات التكتونية أو القارية :**

هذه البحيرات قد نشأت عن انقسامات ترجع إلى ظواهر تكتونية ، أصابت القشرة الأرضية وكسرتها . وهي في الغالب من أعمق البحيرات وأقدمها . ومن بين هذا النوع نذكر على الخصوص بحيرة إفريقيا والبحر الميت .

**البحيرات المحيطية :** وهي البحيرات التي تشكل بقايا أحواض محيطية قديمة انسدت على إثر ارتفاع القشرة الأرضية . وترجع طبيعتها المحيطية إلى ملوحتها مع أن جميع الأحواض المسدودة ذات درجة ملوحة عالية . ونذكر من بين هذا الصنف بحر قزوين .

**البحيرات المدرّجة :** وهي بحيرات من أصل جليدي تحتل التجويفات التي شكلتها مجلدات الدرجة الثانية أي التي لا تتوفر على لسان جليدي .

**البحيرات ذات المَحْرم :** تحتل هذه البحيرات كذلك المنخفضات الجليدية الأصل وهي تقع بالفعل قرب المخارم الألبية المكونة في الغالب من صخور تعرضت للحت .



**بحيرات الأودية الجليدية :** وهي تحتل في الغالب الأودية الجليدية حيث تظهر بشكل مستطيل . ويرجع تشكلها إلى السد الذي يحصر المياه والذي كونته المجلدة على مستوى المصب السبخي .

**بحيرات السدود الجليدية :** وهي بحيرات تتشكل عندما يقوم اللسان الجليدي بحبس عقيق أو حين تمتد المجلدة إلى واد آخر يخترقه اللسان مشكلا بذلك سدا يحصر المياه .

**بحيرات السد الجرافي :** وهي بحيرات تنشأ على إثر تقهقر المجلدات التي تخلص المدرج الجرافي فتميل المياه إلى التجمع بين قوسين جرافيين أو في منخفضات تقع بين الهضاب الجرافية .

**بحيرات الانهيار :** وهي بحيرات انتقالية لأنها تنشأ عن انهيار جدار يقطع الطريق على مجرى مائي . وبإمكان النهر عند مضاعفة قوته أن يخترق البحيرة نفسها ما لم تقم المواد الحتاتية بردم الحُوَيْض .

**بحيرات من أصل ريحي :** على مقربة من الشواطىء البحرية ، يمكن للرياح أن تبني إيداعات رملية ضخمة وخاصة حين يوجد هناك حاجز طبيعي تنقلب عليه الرمال . ومع مرور الزمن يمكن أن ينشأ هناك حزام يحتضن أحيانا بحيرة .

**البحيرات الكارستية :** وهي تحتل تجويفات عديدة تنشأ عن ظاهرة التضريس الصلصالي ( الكارستي ) . ولكي تنشأ هناك بحيرة يجب أن تكون الحفرة ممتلئة عن آخرها بالايداعات الحتاتية .

**البحيرات الطمية :** وهي مرتبطة بمختلف الايداعات الحتاتية المتراكمة في السهول الطمية . وإذا وصل النهر إلى السهل فإنه ، يفقد كمية كبيرة من قوته فيودع هناك ركامات طمية ضخمة تكون سدودا طبيعية تحصر البحيرة . والبحيرات التي تحتل السواعد الميتة من المتعرجات النهرية تسمى هي بدورها بحيرات طمية .

**البحيرات المخروطية الشكل :** وهي تتشكل حين يكون الرافد عنيفا وغزير المياه وغنيا بالمواد الحتاتية المترسبة في واد النهر الرئيسي ، وعندما يكون هذا النهر لا يتوفر على ما يكفي من القوة لزحزحة أو تجاوز هذا السد .

**البحيرات الشاطئية :** وهي تنشأ على إثر تشكل الأحزمة الساحلية التي تحد سواعد بحيرة أو حزات في الشاطىء وقد تنشأ كذلك عن التقاء الشاطىء بإحدى الجزر عن طريق برزخ رملي .

**البحيرات ذات الفوّهة :** وهي تحتل مناطق الانهيار الناتج عن عمليات باطنيّة أو بركانية أو تقع في فوهات البراكين الخامدة أو في فوهات أشباه البراكين التي لا تنتج عنها ظواهر بركانية حقيقية وتكتفي باتخاذ بنية قِمعية الشكل .

**البحيرات الجوية :** وهي قليلة لا يتعدى عددها أربعة في العالم كله ، وتحتل المنخفضات المحفورة في القشرة الأرضية بفعل سقوط أحد النيازك المخترقة للغلاف الجوي .

يمكن للبحيرات أن تنشأ عن البراكين . ففي الفوهة الخامدة عندما تكون اللّابة كتيمة ، يستقرّ الماء على حرارة منخفضة (الصورة من بوليفيا)

كيف يتمّ وضع حدّ للثلوج الدّائمة ؟

# المياه المتجمّدة : المَجْلدات

المجلدات عبارة عن كتل مائية ضخمة على حالتها الصلبة تحتل مناطق واقعة عند مرتفعات معينة تكثر فيها الثلوج بصفة دائمة ولا تذوب الثلوج المتساقطة عليها طول السنة حيث تبقى نسبة كبيرة منها على شكل جليد ، ولا يمكن تحديد مستوى الثلوج الدائمة بصفة قطعية لأنها مرهونة بعوامل الطقس والارتفاع والتعرض لأشعة الشمس وللريح . ويمكن القول بصفة خاصة بأن مستوى الثلوج الدائمة ينخفض تدريجيا بالنسبة لتزايد الارتفاع ، أي كلما اقتربنا من القطبين ، وذلك بسبب انخفاض الحرارة . وهكذا يتم الانتقال من علو 5500 متر في آند البيرو إلى علو 3500 متر في القوقاز ثم 2700 متر في الألب فـ 500 متر في سبيت سبيرغ إلى غاية القطبين حيث يتناسب مستوى الثلوج مع مستوى البحر .

وعلاوة على ذلك ، إذا كانت سلسلة جبلية تحت تأثير أحد المحيطات فإن السفح المعرض للرياح الرطبة القادمة من البحر ، يكون أوفر ثلجا من السفح الآخر ويكون مستوى الثلوج الدائمة فيه أكثر انخفاضا . فسلاسل الآند مثلا التي تخترق طولا أمريكا الجنوبية من واجهتها الغربية ، تتوفر على ثلوج دائمة أكثر انخفاضا في الغرب لأن ذلك السفح معرض للرياح الرطبة القادمة من المحيط الهادي ، وبالعكس تكون الهيمالايا تحت تأثير المحيط الهندي حيث يتوفر سفحها الجنوبي على مستوى ثلوج دائمة أكثر انخفاضا من السفح الشمالي ، يصل الفارق بينهما 1700 متراً. وهكذا نجد سلاسل جبلية واقعة على نفس الارتفاع وتختلف من حيث مستوى الثلوج الدائمة . ومن جهة أخرى، فلو تماثلت كل الظروف الأخرى فإن السفح الجنوبي سيتعرض دائما لتأثير أشعة الشمس حيث يكون مستوى ثلوجه الدائمة أكثر ارتفاعا منه في السفح الشمالي. وكما رأينا سابقا، فإن الاستثناء الذي يثبت القاعدة يتمثل في الهيمالايا حيث تنقلب الوضعية بفعل تأثير الرياح الموسمية الدورية.

ومن خلال كل هذه المعطيات نخلص إلى أن كمية الثلج التي لا تذوب كل سنة تتضاعف بلا نهاية، ويتزايد سمكها تدريجيا . والواقع أن التوازن يتم الحفاظ عليه بواسطة مختلف الظواهر التي تساهم في تقليص سمك الطبقة الثلجية وتميل كلها، مهما كانت إلى نقل الثلج أو الجليد تحت المستوى الذي تذوب عنده . وتتمثل الظاهرة الأولى في الانهيار الثلجي الذي ينزلق أو يتساقط بعنف تحت ضغط كمية الثلوج والتراب، وتحدث الانجرافات الثلجية أساسا في فصل الخريف أو في فصل الربيع وتحمل آنذاك إسم الانجرافات القعرية، وتحدث أعظمها خلال فصل الربيع عندما تتسلل مياه الذوبان تحت الثلج وتحول دون التصاقه بالصخور .



تتكوّن المجلدة فوق حدّ الثلوج الدائمة حيث يبقى جزء من الثلج المتساقط على حالته الصّلبة بفعل انخفاض درجة الحرارة ثم يتحوّل تدريجيا إلى جليد . في الصورة مجلدة هيمالاييّة .

لماذا لا يذوب الثلج المتساقط خلال السّنـة ؟

كيف تتكوّن المجلدات ؟

ومن حسن الحظ، فانجرافات القعر تكون في الغالب تكرارية بحيث تسلك مجاري قسرية كالممرات الجبلية مما يحد من مفعولها التخريبي . وهناك أيضا مجلدات تنشأ عن تحول الثلج إلى جليد حيث تهبط ببطء نحو الوادي إلى أن يصيبها الذوبان النهائي . وقبل التعرض إلى خصائص المجلدات . يجدر بنا الوقوف عند أصلها وعمليات الجليد والجليد الجديد التي تعد ذات أهمية قصوى في تشكل المجلدات .

والجدير بالاشارة أن هناك حدا حراريا يُعرف بنقطة التجمد يتصلب تحتها الماء فيصبح جليدا، وهذا ما يمكن معاينته بسهولة في نظام ثلاجة كهربائية عادية . ولكن الجليد قد ينشأ كذلك بفعل تسامي البخار المائي عندما يتجمع الهواء الرطب في المناطق المتميزة بانخفاض الحرارة . ففي بعض الظروف يتكون الثلج والصبر من الجليد عندما تودع الذرات الغازية حول نوى التكثف الحرة أو الملتصقة بالأرض، مشكلة بذلك تركيبات بلّورية معقدة على شكل نجوم متعددة الأشعة ، وعندما يصل الثلج إلى الأرض ، أي يكون على شكل مجلدة ، يكون عادة دقيقا ولكنه لا يذوب مباشرة بل يتخذ أشكالا مختلفة تؤدي به إلى الجليد . وهكذا نكون أمام ثلاثة مراحل أساسية : فهناك الثلج الطري الذي يحتوي على كميات كبيرة من الهواء ، يكون ، في حالة انعدام الريح وانخفاض الحرارة ، ناعما ، بينما يصبح خشِنا حين تهب عليه الرياح فيمتص الغبار ، أما الثلج المحصن فيساهم كل من الضغط والذوبان والجليد الجديد في تجريده من الهواء ومضاعفة كثافته ووزنه النوعي . أما الثلج العتيق فيكون ذا بنية محببة وتماسك شديد ، وذلك بفعل خلوه شبه التام من الهواء .

وتختلف مقاومة الثلوج لمنحدرات التربة حسب نوعيتها ، إلا أنه في بعض الظروف تميل الثلوج الثلاثة إلى الهبوط تحت تأثير الجاذبية الأرضية . ومن البديهي أن تتكون فوق مستوى الثلج الدائم تراكمات وتنضيدات ثلجية مختلفة تتلاحم طبقاتها بعضها ببعض بفعل الجليد الجديد . ويمكن التأكد من هذه الظاهرة بكيفية بسيطة : فحين نأخذ مكعبا من الثلج ونبلل إحدى واجهاته ونضع هذه الواجهة فوق واجهة مكعب آخر ونعيدهما معا إلى الثلاجة،

في الصورة أسفله ، بركان كوتوباكسي بالاكواتور . ويمكن معاينة الطّبقات الثّلجية المتتالية . وتتحوّل هذه الطّبقات إلى المجلدة من خلال المرور من الثّلج الطرّي الى الثّلج الملتصق ثم إلى ثلج قديم أو دقيق .

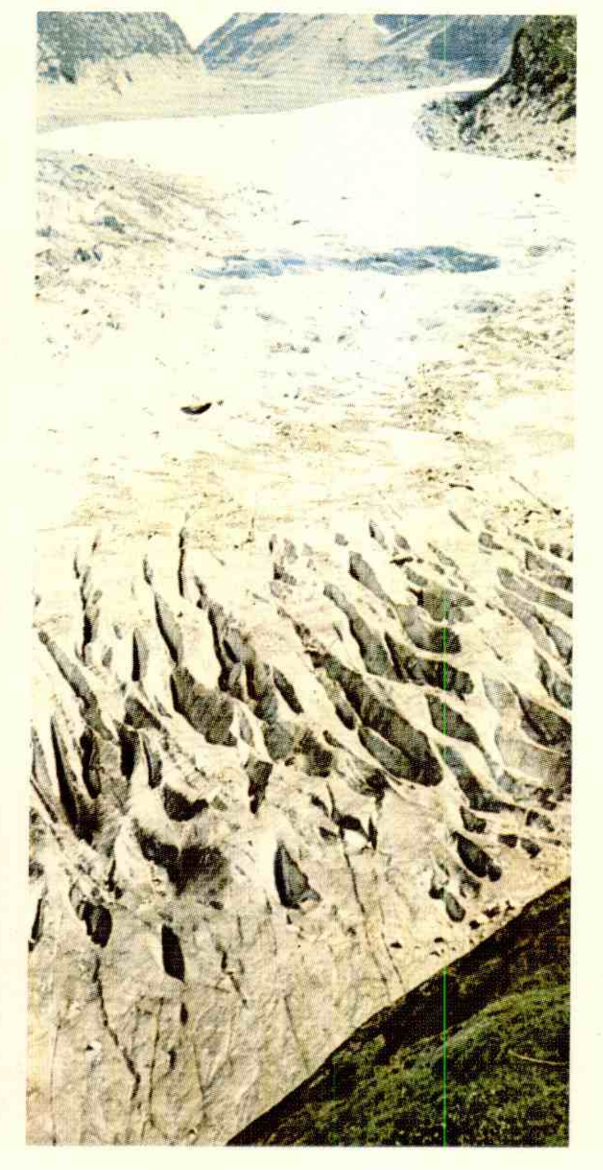


التيهور أو الهيار الثّلجي ، إنّها أطنان من الثلج المقتلع من الحفرة الصغيرة فوق السّحاب الثّلجي (الصورة) ، تتدحرج إلى قعر الوادي محدثة دويّا مرعبا .

فسنلاحظ بعد فترة وجيزة أن القطعتين التحمتا ببعضهما . وتحدث نفس الظاهرة على مستوى الكتل الثلجية الكبرى المنضدة ، لأن الضغط الذي تخضع له الحقول الفوقية يخفض نقطة الانعقاد ، مثيرا ذوبانا جزئيا يؤدي إلى امتلاء حفر الحقل السفلي بالماء ، وهذا الماء بإفلاته من الضغط يتجلد مرة ثانية .

ويسمى تراكم الثلج العتيق خشيفا حين يبقى على شكله الأصلي مدة طويلة ، أما حين تنتقل الكتلة الثلجية المتجلدة إلى تحت مستوى الإيداع ، فإنها تصبح مجلدة ( أو جليدية ) . وتختلف المجلدات من حيث خصائصها وأشكالها وأحجامها حسب عدة عوامل . ويمكن إعطاء فكرة واضحة عن هذه العناصر باعتبار المجلدات ذات بنية متشاكلة وذلك على النحو التالي :

هناك حوض الرفد أو حوض التجميع الذي يقع تحت مستوى الثلوج الدائمة، وهو على شكل حويض نصف دائري يعرف بالمدرج الجليدي الذي يمكن أن تنعدم علاقته بالمجلدة أو أن يرتبط بها ارتباطا وثيقا بفعل الحت الذي تتعرض له المجلدة ذاتها، وهناك أيضا وادي التفريغ أو وادي الذوبان حيث يهبط الجليد إلى نقطة يتحول فيها إلى جبهة ، أي أن طرفه النهائي يتحول بدوره إلى لسان، وفي هذه المرحلة تتعرض مؤخرة المجلدة للذوبان.



في الصورة جانبه ، في المقدّمة باستمرار مع تقدّم المجلدة . والرسوم الجانبية تبيّن المراحل المتعاقبة لتحوّل الثلج إلى جليد رقائقي .

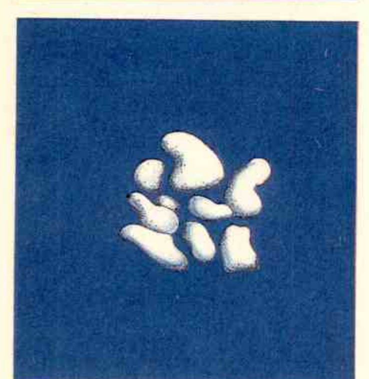
**حركات المجلدات :**

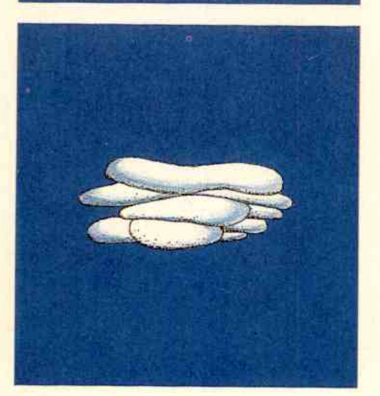
من خلال المعطيات السابقة، قد يعتقد البعض أن المجلدة لا تنتقل إلا في اتجاه واحد، أي نحو المكان الذي تذوب فيه . والحقيقة أن الأمر يتعلق باهتزازات المجلدة لأنها تتقهقر بينما هي تتقلص . ومن الواضح كذلك أنه إذا كانت الحركة نحو الأسفل تنقلا حقيقيا، نجهل طبيعته لحد الآن، فإن تراجع المجلدة سببه ليس فقط ذوبان الثلوج تحت تأثير عوامل الطقس والمناخ .

ورغم هذه الملاحظات ، يبقى أن نفسر أسباب تنقل الكتل الجليدية المتماسكة ، بإيقاع منتظم ، حيث تقطع أحيانا مسافة خمسة كيلمترات سنويا في المناطق القطبية . ذلك ما سنحاول الاجابة عنه فيما يلي : فجليد

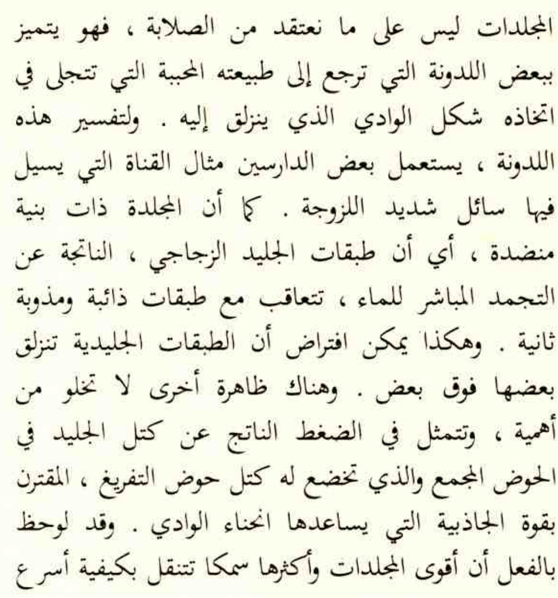
ماهي مكّونات المجلدة ؟







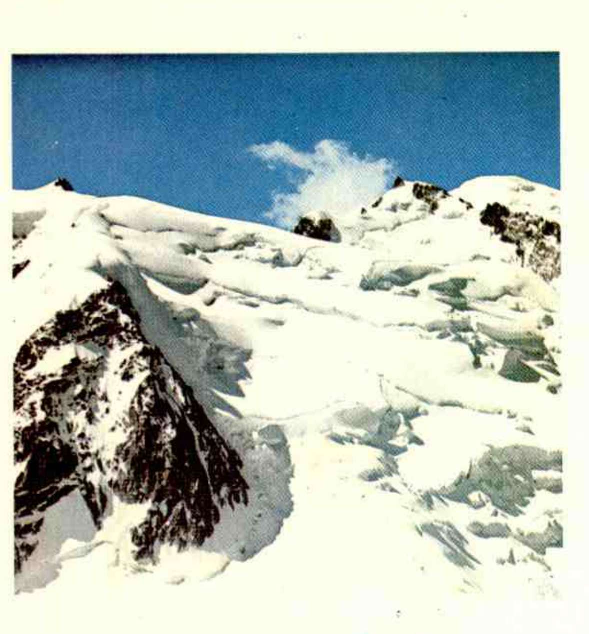
## كيف تنتقل الكتل الجليديّة ؟



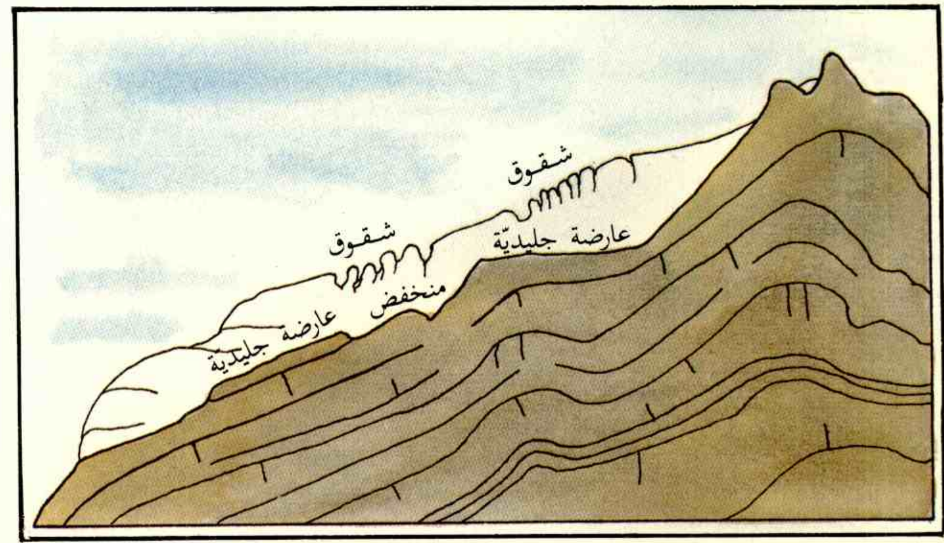
المجلدات ليس على ما نعتقد من الصلابة ، فهو يتميز ببعض اللدونة التي ترجع إلى طبيعته المحببة التي تتجلى في اتخاذه شكل الوادي الذي ينزلق إليه . ولتفسير هذه اللدونة ، يستعمل بعض الدارسين مثال القناة التي يسيل فيها سائل شديد اللزوجة . كما أن المجلدة ذات بنية منضدة ، أي أن طبقات الجليد الزجاجي ، الناتجة عن التجمد المباشر للماء ، تتعاقب مع طبقات ذائبة ومذوبة ثانية . وهكذا يمكن افتراض أن الطبقات الجليدية تنزلق بعضها فوق بعض . وهناك ظاهرة أخرى لا تخلو من أهمية ، وتتمثل في الضغط الناتج عن كتل الجليد في الحوض المجمع والذي تخضع له كتل حوض التفريغ ، المقترن بقوة الجاذبية التي يساعدها انحناء الوادي . وقد لوحظ بالفعل أن أقوى المجلدات وأكثرها سمكا تتنقل بكيفية أسرع من غيرها . ومن أسباب تحرك المجلدات كذلك ، الجليد الجديد الذي يؤدي إلى مضاعفة كميات الماء المذاب بين مختلف الطبقات ، حيث تتجمد في الشقوق محدثة دفعات جانبيّة . كما أن جزءا من تلك المياه يتدفق إلى أسفل حيث يتجمع في بعض الظروف ، فينشأ عنه باستمرار جليد جديد .

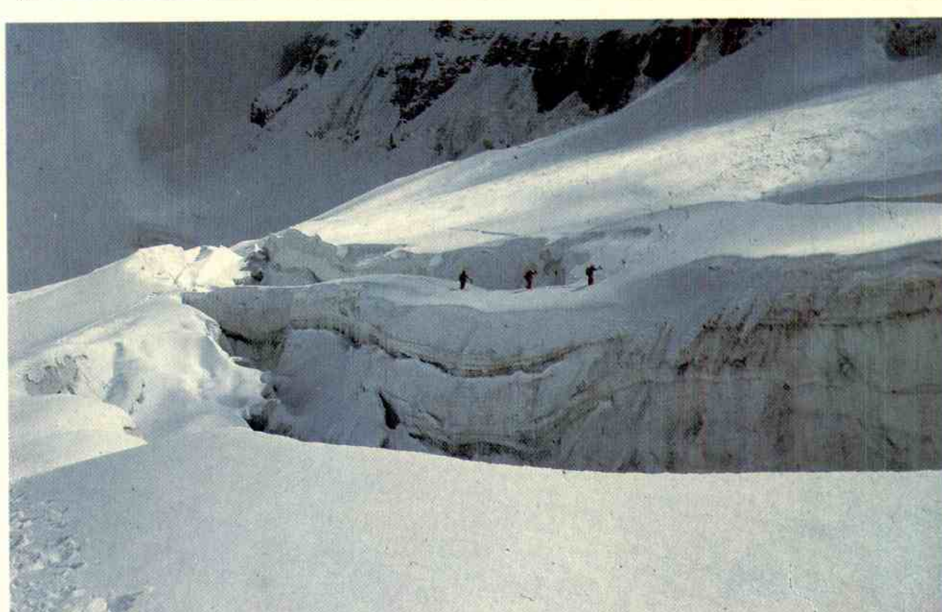
وبعد تحليل أهم أسباب تحرك المجلدات ، سوف نتعرض إلى مفعول هذا التنقل وما ينتج عنه من ظواهر .

وتعد ظاهرة استفراغ المجلدات من أهم نتائج التحرك الجليدي ، فقد تم العثور عند سافلة المجلدات على أشياء وجثث الألبنيين التي سقطت في شقوق هي أحيانا بعيدة عن المكان الذي وجدت فيه . ومن الأمثلة التاريخية على ذلك ، السلم الذي فقده سوسير سنة 1786 ، وهو يتسلّق الجبل الأبيض ، والتي عثر عليها سنة 1832 ، وهناك أيضا تجربة الأوتاد الصغيرة التي أزاحت الشك عن ظاهرة هذه . ذلك أنه يمكن غرز صف من الأوتاد عرضاً في المجلدة ، ثم تثبت نقط استدلال على جدران الوادي ، وبعد مدة من الزمن يلاحظ أن صف الأوتاد يرسم منحنى في اتجاه الوادي وأن الأوتاد بدورها قد انحنت في



في الصورتين أعلاه وأسفله ، نلاحظ نوعين من الثلوج الحبيبيّة ، فالنوع الأوّل ينتقل في الاتّجاه الأسفل والثاني يبيّن نوعا من التّنضيد الهائل . ولنلاحظ الطّبقة الواقعة فوق الالبنييّن الثّلاثة : إنّها غاية في الانحناء . الرسم جانبه يبين كيف يتمّ تشكّل الشّقوق . في هذه الحالات يتعلّق الأمر بالشّقوق العرضانية المتكوّنة أثناء تجاوز المجلدة لعارضة جليدية للوصول إلى منخفض أو العكس .



نفس الاتجاه . ويدل ذلك على أن المجلدة تنقلت وأن السرعة أشد في جزئها الأوسط منها في الأجزاء الأخرى ، كما أن السطح أسرع من الطبقات السفلية . ويمكن إذا مقارنة المجلدة بأحد الأنهار ، مع اختلاف واحد وهو أن مركز المجلدة يقع على السطح بينما يقع مركز النهر في الأسفل .

وإذا كانت اللدونة هي موطن قوة نظرية الحركة ، فإن للصلابة بدورها نصيب في تفسير حدود الحركة ذاتها . فكما أنه ليس هناك التصاق تام بين المجلدة وسطح الأرضية ، وأن المجلدة تميل إلى تجنب الحاجز عوض اجتيازه ومحوه ، فإن الأمر يؤدي إلى ظهور شقوق عديدة تعرف بالتشققات الجليدية ، وتنتج عن اختلافات الضغط والتمطط التي تخضع لها الكتلة المتماسكة على طول انحدارها . ومن أصناف الشقوق هناك التشققات الهامشية وهي ترجع إلى اختلاف السرعة ما بين الجزء الأوسط والجوانب ، وتعرف كذلك بالشقوق الجانبية ، وهي تظهر عادة على شكل سنبلي بالنسبة للمحور المركزي . وهناك التشققات الشعاعية ، وهي تنشأ عن انتهاء المجلدة إلى واد أوسع وحين تصل إلى مستوى الجبهة حيث تنتشر على السطح فاقدة من قوتها ، وتكون هذه الشقوق على شكل مروحي . أما التشققات طولا، فتسببها تقلصات الوادي التي تثير مضاعفة احديداب المجلدة، الشيء الذي يؤدي إلى تشقق مستطيل . وتتكون التشققات عرضاً عندما تتعرض لدونة المجلدة إلى تأثير انقلابات مفاجئة تتمثل في تجاوز المجلدة للحاجز فتنكسر بعد انثنائها . وعند الجبهة حيث ترقق المجلدة ، تكون الشقوق على شكل مروحي وتنتهي إلى التشابه في جميع الاتجاهات . وبسبب هذه الظواهر كلها تتشكل دعامات وإبر وشلالات جليدية وأسراك تكون في الغالب على شكل كتل منظمة على نحو أحد أنواع الجبن ، المعروف بالسرك (من سافوا) .

**أهم أنواع المجلدات :**

إن بنية المجلدات ليست قارة ولكنها تختلف وتتنوع تحت تأثير عوامل عدة . وذلك راجع إلى كون المجلدة في الحقيقة مجرد كتلة مائية تتقولب حسب الخصائص المورفولوجية للتربة وبنية حفرة الحوض المجمع الذي قد يكون ذا مصب أو بدونه .

وهكذا تصنف المجلدات إلى مجلدات من الدرجة الأولى يكون لها لسان جليدي ، ومجلدات من الدرجة الثانية تكون بدون لسان . ومجلدات الدرجة الأولى أو المجلدات الألبية هي الأكثر شهرة والأكثر اكتمالا لأنها تتوفر على حوض مجمع واسع جدا يتزود من حوض الذوبان الذي يتخذ حيزا ضيقا ومستطيلا ينتهي بلسان جليدي يصل فوق مستوى الجليد الدائم . أما المجلدة الهيمالايية أو المركبة ، فتلتقي فيها عدة مجموعات ثلجية لتكون نظاما جليديا مركبا يشبه مجلدة ألبية .

أما مجلدات الدرجة الثانية أو مجلدات المدرج فهي أبسط من الأولى، لها كتلة واتساع ضعيفان لأنها لا تتوفر على لسان جليدي ، وهي ذات شكل نصف كروي . وعادة ما تقع عند ارتفاع ضئيل حيث تحتل حفرة جبلية أو أحد الأودية المعلقة . ومجلدات المنحدر الواقعة عند سفوح

لماذا تنكسر المجلدات بطرق مختلفة ؟




تمثيل مبسّط لمجْلَدة نموذجية .

**لماذا توجد أنواع متعدّدة من المجلدات ؟**

الجبال والمجلدات البيرينية من النماذج الشبيهة بمجلدات المدرج . وإذا كانت التربة ذات بنية خاصة على شكل هضاب عالية أو قباب وغزيرة المياه، فإن ذلك يؤدي إلى تكون مساحات جليدية فوق قممها . وتنطلق الألسنة الجليدية من تلك القباب فتحتل الأودية المنخفضة . ويعرف هذا النوع بالمجلدة السكاندينافية أو المجلدة ذات الألسنة المتشعبة .

**لماذا تتكوّن الجبال الجليدية والميادين الجليديّة في القطبين ؟**

وعندما تتجه الألسن الجليدية بعضها نحو بعض لتشكل حوضا للذوبان ، فإنها تؤدي إلى نشأة مجلدة السفح . وقد كان هذا الصنف من المجلدات منتشرا إبان العهد الرابع، ولكنه اليوم لا يوجد إلا في ألاسكا وغرينلاند حيث يظهر حوض الذوبان على شكل كتلة جليدية متماسكة تتقدم على طول سهول واقعة بين سلسلتين جبليتين .

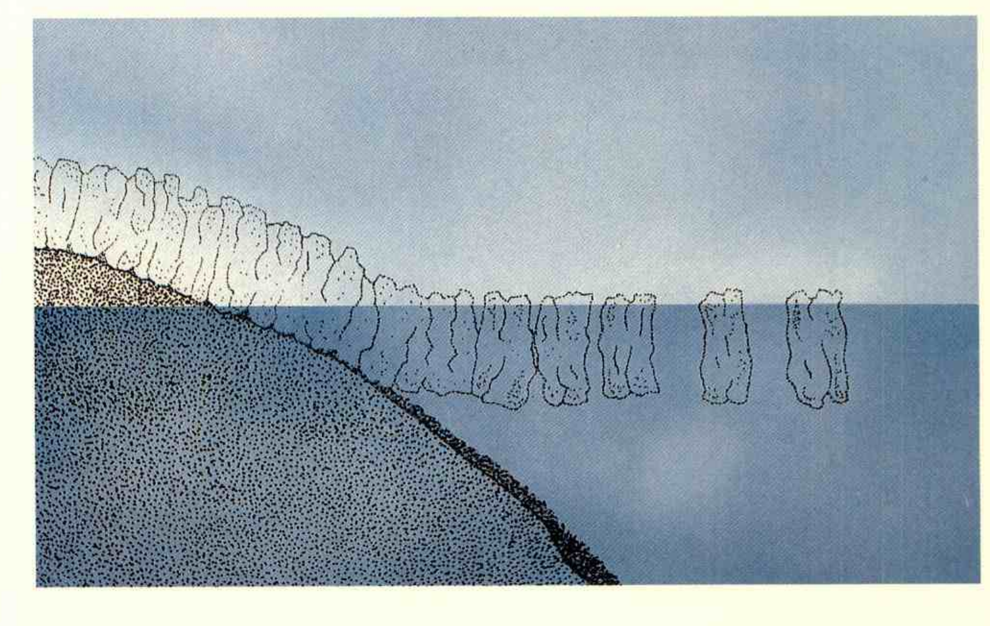
ومن أهم أصناف المجلدات كذلك ، هناك الايسلندية التي تنشأ عن التقاء عدة مجلدات كبيرة ، وتشكل قنة ضخمة يتراوح سمكها ما بين كيلمترين وأربع كيلمترات ، وتوجد نماذج منها في القطب الجنوبي وبالخصوص وفي مختلف المناطق القطبية الأخرى ولذلك تعرف كذلك بالمجلدات القطبية . ويسمى هذا الصنف بالمجلدة الغرينلاندية حين تتكون حولها ألسنة جليدية تتقدم نحو البحر . أما حين توجد جبهة على الواجهة البحرية ، فالأمر يتعلق بمجلدة حاجز أو مجلدة قطبيجنوبية ، التي تتكسر فيها الكتل الجليدية بارتطامها بالأمواج فتتخذ شكل منحدر ذي شغفة . وغالبا ما تنفصل كتل جليدية كبيرة من هذا المنحدر فتنتقل إلى أوساط البحار عند مناطق معينة تذوب فيها . وتعرف هذه الكتل الضخمة بالجبال الجليدية العائمة .

وتعد الميادين الجليدية كذلك من الظواهر المتواترة وهي عبارة عن حقول من الجليد مكونة من صفائح تشكلت بفعل تجمد ماء البحر وانفصلت عن الشط ثم حملتها التيارات والرياح .

**دور المجلدات التخريبي والبناء ( الإزاحة الدينامية ) :**

إن حركة الكتل الجليدية الموجودة في السافلة لا تقتصر فقط على التنقل نحو الأسفل ، بل تشمل كذلك دورة تحفر الحويض بتعميقه أكثر فأكثر . وتتعرض جدران المجلدة لنفس العملية حيث تنتهي إلى اتخاذ مظهر ناعم ومصقول . وفي المناطق المنخفضة ، يتكون ركام من الجليد والحتات يعرف بالمدرج الجليدي ، تحصرها عتبة صخرية عند السافلة . وقد أثيرت عدة فرضيات بشأن أصل هذا المدرج ، ومنها تلك التي تعتمد على عملية التجمد وإعادة التجمد المزدوجة ، وتظهر أكثر مصداقية من الفرضيات الأخرى لأنها تفسر أصل المدرج بتوسع وتضخم حفرة قديمة على إثر امتلائها بالثلج . والمدرجات تنضد على مرتفعات مختلفة ، ويمكن أن تكون معزولة ومسطحة وبدون منفذ أو تكون على صلة بالوادي عن طريق لسان جليدي . كما توجد بكثرة مدرجات متقاربة جدا لا تفصل بينها سوى جدران بالغة الرهافة . وعندما يكون المدرج خاليا من الجليد فهو يحتضن بحيرة .

وخلال هبوطها نحو الوادي ، تقوم المجلدة بعمليات





أعلاه ، رسم تبياني لتكوّن جبال جليديّة . جانبه ، مجلدة غرينلاندية تتقدّم نحو البحر .

كيف تُؤثّر المجلدة على شكل التّضاريس .

وذلك ما يفسر تكوّن ما يعرف بالفطر المجلدي أو موائد المَجْلَدَات التي تشبه أهراما ترابية من نحت المياه الجارية .

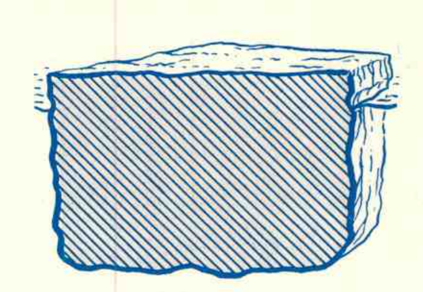
ومن بين التغيرات المباشرة التي تترتب عن المجلدات ، نذكر على الخصوص تكون الأودية المجلدية التي تكون جانبيتها على شكل بئر . بخلاف جانبية الأودية النهرية لأن ضغط المجلدة يقع بالتساوي على الجوانب وعلى القعر . ولنفس الأسباب التي أدت إلى تكون الشرف النهرية ، فإن الأودية المجلدية بإمكانها كذلك أن تتوفر على شرف . وفي هذه الحالة أيضا نجد شرفا جبلية وشرفا تشبه أرصفة الأنهار الطميية إلا أنها تعرف بالشرف المجلدية أو الشرف النهرية المجلدية .

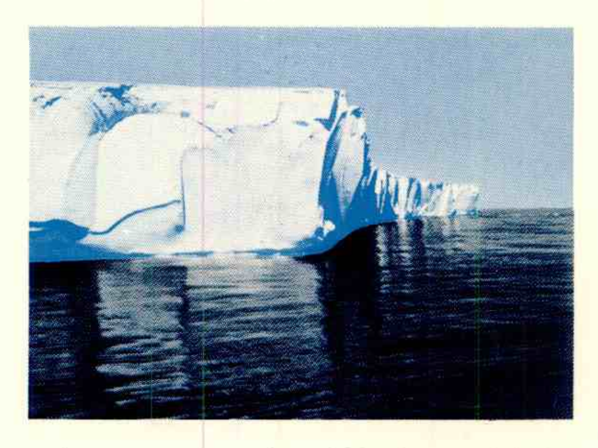
وهناك مظهر آخر لتصدّع جانبيّة الوادي المجلدي ، يتمثل في الوادي المعلق . وهو عبارة عن واد حفرته إحدى المجلدات التي تصغر المجلدة الرئيسية حجما ، وتكون واقعة في أحد جوانب هذه الأخيرة ، ولكنها لا تتوفر على ما يكفي من القوة لحفر الوادي الجانبي إلى النهاية تمكينه من الالتحاق بالمجلدة الرئيسية . ولا يتأتى توازن الوضعية إلا إذا تراجعت المجلدة وعوضت بمجرى مائي يثير بسهولة الوصل مع الوادي الواقع في الأسفل وذلك بواسطة شلال أو وهد .

ومن الظواهر التخريبية للمجلدات كذلك ما يتمثل في الصخور والجدران المحززة وفي الجانبيات الحوتية الظهر وفي الصخور الوعرة . فغالبا ما تتوفر أودية الحت المجلدية على جدران محززة تنشأ عن تأثير الصخور المحبوسة في الجليد المتحرك . ونفس الشيء بالنسبة للصخور التي تهبط وتحتك بعضها ببعض ومع الجدران والمجرى مما يحدث بها أخاديد متفاوتة العمق . وكما رأينا سابقا ، فالمجلدة تقوم بصقل التربة وإنشاء تشكلات صخرية مدورة تعرف بالصخور المجعدة أو الوعرة . وعندما تستطيل التضاريس المكونة من هذه الصخور مجتمعة ، ثم تمتد على منحدر يكون أكثر وعورة في السافلة منه في العالية ، آنذاك نكون أمام تضاريس ذات ظهر حوتي الشكل .

ومما لا شك فيه أن أهم ظاهرة تنتج عن عمليات الجليد هي تلك التي تنشأ عنها الانجرافات والركامات الجليدية، وهي مجموعة المواد الحتاتية التي تجرفها المجلدة . وقد صنفت هذه الركامات إلى عدة أنواع حسب وضع المواد التي تحتويها ، وهي كالتالي :

**الركامات الجليدية الجانبية** ، وهي عادية وتنشأ تحت تأثير احديداب المجلدة وكثرة الأشعة بجدران الوادي . ذلك أن الجليد الجانبي أسهل ذوبانا من جليد الوسط ، وهو إذ يهبط يتغطى بالحتات الذي ينزلق إليه .





جبل جليدي عائم بالقطب الجنوبي ورسم تبياني لجزئيه السطحي والمغمور بالمياه البحريّة .

التحويل الثلاث وهي الحت والنقل والايداع . وتجدر الاشارة إلى أن المدرج الجليدي شكل من أشكال الحت الجليدي . إلا أن المجلدة تستعين كذلك بماء الذوبان للقيام بالتحويلات التشكّلية . وبالفعل فعند معاينة مجلدة تقع على ارتفاع معتدل خلال نهاية الربيع والصيف ، نلاحظ أن الجليد السطحي يذوب وتترتب عنه جداول عديدة تهبط إلى أسفل . وإذا نفذ أحد هذه الجداول إلى إحدى الشقوق وتساقط بها ، فإننا سنشاهد تكوّن شلال صغير يوسع الشّق تدريجيا ويدوره إلى أن يحوله إلى طاحونة مجلدة . واذا كانت بقعر الشق صخرة كبيرة ، فإن الماء يصبح مزوبعا وتقوم الصخرة مقام مثقب ثم تنشأ هناك حفرة صغيرة تسمى حفرة العمالقة .

ويجتمع الماء المتساقط في الشقوق بالمياه السائلة على السطح نحو الوادي ، ليتكوّن معها مركّبا مائيا يشبه الشبكة المائية لأحد الأنهار ، ويقوم بنقل مختلف المواد الحتاتية الدقيقة الحجم . وتثير حرارة النهار ذوبان الجليد السطحي محدثة ثقوبا سرعان ما تمتلىء بالمياه . إلا أن الذوبان لا يكون منتظما ، إذ يمكن أن تتحول التربة إلى مستنقع خطير من المياه والثلوج . وفيما يخص الصخور الكبيرة الحجم ، فإن الأمر يختلف ، لأنها ذات وظيفة مزدوجة حيث تمارس ضغطا قويا على الطبقات السفلية ، فهي تسهل ذوبان الجليد الموجود على جنباتها وتحمي الجليد الذي تغطيه .

لماذا تودِع المجلدة حتاتا جُرافيا ؟

**الركامات الجليدية المتوسطة** ، وهي تصدر عن التقاء مجلدتين حيث تتكون من تراكم جرافين جانبيين . وهكذا يتوفر الركامان الجديدان المتكونان على ركامين جليديين جانبيين وعلى ركام متوسط .

**ركامات الحواجز** ، وهي تتكون من الحتات الذي تكومه المجلدة عند أحد الحواجز .

**الركامات الجليدية المتسربة** ، وتودعها المجلدات في أودية جانبية خالية من الجليد .

**ركامات القعر** ، وتتشكل من مجموع الحتات المنزع من القعر والحتات المتساقط من الشقوق .

**الركامات الجليدية المودعة** ، وترجع إلى عجز المجلدة عن جرف المواد التي تودعها وتراكمها ، بعد أن وصلت إلى مرحلتها النهائية .

**الركامات الجبهية** ، وهي ركامات الجبهة ، ولها شكل نصف دائري بسبب شدة سرعة المجلدة في السطح والوسط . وحين تكون المجلدة ضخمة ، فإن الركامات الجليدية المودعة قد تتخذ أحجاما هائلة وتكون مدرجا ركاميا على النحو المعروف في الأودية الألبية . ذلك أنه يجدر التذكير بأن المجلدة معرضة لاهتزاز قد يثير إيداعات تقع على مسافات معينة بعضها عن بعض . والمجالات التي تتركها فارغة فيما بينها تصبح ممتلئة بمياه بحيرات تعرف بالبحيرات البيركامية .

الصورة السّفلى ، تشكلات صخرية ترجع إلى الحتّ المركب من المياه الجارية ومن مجلدة . والأرضية التي تشكلت عليها هذه الأهرام التّرابية هي من أصل جليدي .

